



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

VIABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS NOCTURNA Y SIN ASISTENTES EN BARCELONA

Treball realitzat per:

Julieta Elizabeth Armesto D'aloia

Dirigit per:

Francesc Robusté Antón

Grau en:

Enginyeria d'Obres Públiques

Barcelona, 24/01/2018

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE GRAU

RESUMEN

Este proyecto se ha realizado para dar una solución al problema que tienen actualmente la mayoría de ciudades del planeta, el tráfico. Aunque se intentará obtener mejoras en los resultados de otros aspectos aparte de este problema, como la reducción de emisiones nocivas, los conflictos sociales que actualmente provocan las descargas de mercancías, mejorar la seguridad tanto de los peatones como de los demás conductores y además intentar sacar un beneficio económico para que sea lo más atractivo posible para los agentes implicados.

En este proyecto se explicarán diferentes alternativas para resolver los problemas de distribución de mercancías urbanas que se han realizado en diferentes partes del mundo y especialmente algunos casos en Barcelona o alrededores. Aunque se quiera dar un conocimiento global de las soluciones, el proyecto se centrará en la distribución urbana de mercancías nocturna sin asistencia. Para ello se ha recogido información de expertos en el tema como José Holguin-Veras, impulsor del proyecto piloto de distribución urbana de mercancías en Nueva York tanto con asistencia en los establecimientos como sin ella.

El objetivo principal del trabajo es extraer una conclusión sobre la viabilidad de la distribución urbana de mercancía sin asistencia en la ciudad de Barcelona, realizando una comparación de diferentes casos que se pueden encontrar en la ciudad. Se realizarán dos modelos diferentes, uno el cual se aplica a una cadena de supermercados, donde se necesitan recibir muchas entregas todos los días de la semana y gran cantidad de mercadería, teniendo en cuenta que los establecimientos y los camiones forman parte de la misma empresa, por lo tanto toda la ganancia se verá penalizada por las inversiones a realizar. En cambio el segundo modelo se centra en una empresa transportista pequeña la cual realiza muchas entregas a diferentes clientes en una sola ruta, con la característica que las entregas son pequeñas y rápidas, lo que significa que el balance final de los dos casos será muy diferente entre ellos.

Los resultados enseñan que este proyecto no es económicamente viable para todos los tipos de establecimientos y tendrán un factor muy importante para la evolución del proyecto el interés que muestren las autoridades por él, ya que las ayudas que inviertan serán la razón por la cual más o menos empresas lo realizarán. Pues en todo caso supone un avance para el conjunto de la sociedad.

RESUM

Aquest projecte s'ha realitzat per donar una sol·lució al problema actual de la majoria de les ciutats del planeta, el trànsit. Encara que s'intentarà obtenir millores en altres aspectes apart d'aquest problema, com la reducció de les emissions nocives, els conflictes socials que actualment provoquen les descàrregues de mercaderies, millorar la seguretat tant dels vianants com dels demés conductors i més de tot això treure'n un benefici econòmic per que sigui el més atractiu possible per els agents implicats.

En aquest projecte s'explicaran diferents alternatives per resoldre els problemes de distribució de mercaderies urbanes que s'han realitzat en diferents parts del món i especialment alguns casos a Barcelona o en els seus voltants. Encara que es vulgui donar un coneixement global de les sol·lucions, el projecte es centrarà a la distribució urbana de mercaderies nocturna i sense assistència. Per fer això s'ha recollit informació d'experts en el tema com el professor José Holguin-Veras, impulsor del projecte pilot de distribució urbana de mercaderies a New York tant amb assistència en els establiments com sense ella.

L'objectiu principal del projecte es extreure una conclusió sobre la viabilitat de la distribució urbana de mercaderies sense assistència a la ciutat de Barcelona, realitzant comparacions entre diferents casos que es poden trobar a una ciutat. Es realitzaran dos models diferents, un el qual s'aplica a una cadena de supermercats, on es necessiten rebre moltes entregues tots els dies de la setmana i gran quantitat de mercaderia, tenint en compte que tots els establiments i els camions formen part de la mateixa empresa, per tant el guany obtingut es veurà penalitzat per les inversions a realitzar. En canvi el segon model es centra en una empresa transportista petita la qual realitza moltes entregues a diferents clients en una sola ruta, amb la característica que les entregues son petites i ràpides, el que significa que el balanç final dels dos casos serà molt diferent entre ells.

Els resultats ensenyen que aquest projecte no es econòmicament viable per tots els tipus d'establiment i si les autoritats mostressin interès en ell, tindria un factor molt important per la evolució del projecte., ja que les ajudes que inverteixin podrien ser la raó per la qual més empreses ho realitzessin. Ja que en tots els casos suposa un avenç per al conjunt de la societat.

ABSTRACT

This project has been made to find a solution to one of the most important problems nowadays in our cities, traffic. However, other aspects will be faced, like CO₂ emissions reduction, social problems, improvement for pedestrian's security and for drivers and also try to have an economical benefit in order to interest to the agents involved.

This project will explain the different alternatives to resolve the various problems of the urban freight delivery that have been done around the world and especially some cases in Barcelona. Specially is going to be focused in unassisted off-hours delivery. To do this, information has been collected from experts in the field, such as José Holguin-Veras, promoter of the New York pilot project "Unassisted off-hour delivery in NYC". The main object of the work is to achieve the conclusion about the viability of the unassisted off-hour delivery in Barcelona, making comparisons of different cases that can be found in the city.

There will be two different models, on one hand there will be an application to a supermarket company, where the need of deliveries is daily and a big amount of products, even though an important part of the gains will be penalized by the investments to be made. On the other hand, a second model focuses on a small carrier company which makes a lot of deliveries to different costumers in a single route, with this characteristic there will smaller and quicker deliveries, which means that the final balance of the two cases will be very different among them.

The results shows that this project is not economically viable for all types of establishments and the authorities will have an important factor for its evolution, since this will in any case mean a huge step forward for the entire society.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al mi tutor el profesor Francesc Robusté por ayudarme a encontrar un tema que me gustara i darme las pautas necesarias para realizarlo, al señor Jordi Panadés Jefe del Área de transportes de Condis Supermercats, por su ayuda en el proceso de este trabajo y por su gran amabilidad. A Marta Aguilà mi amiga la cual me ha ayudado no solo aportando información sino también aconsejándome y apoyándome.

Pero sobretodo agradecer a mi familia por el apoyo diario no solo en este proyecto sino durante toda la carrera, papá y mamá sin ustedes no hubiese llegado hasta donde estoy hoy y os lo debo todo, gracias por estar siempre, los quiero mucho. Y a tu Albert, gràcies per aguantar tots aquests anys de carrera, ajudar-me i reconfortar-me quan més ho necessitat, t'estimo molt.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	6
1.1.	Antecedentes.....	6
1.2.	Objetivos.....	7
2.	ESTADO DEL ARTE.....	8
2.1.	DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS	10
3.	MEJORAS EN LA GESTIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS	14
3.1.	Centros de consolidación de mercancías	14
3.1.1.	Centros híbridos de consolidación urbanos	15
3.1.2.	Microdistribución urbana de mercancías	16
3.2.	Carriles multi-usos	18
3.3.	Puntos de entrega.....	19
3.3.1.	Puntos de entrega dentro de tiendas físicas.....	19
3.3.2.	Puntos de entrega en taquillas.....	19
3.4.	Cambio de horario en las entregas.....	21
3.4.1.	Londres	21
4.	DISTRIBUCIÓN NOCTURNA DE MERCANCÍAS.....	23
4.1.	Distribución nocturna en Barcelona	24
4.2.	Entregas nocturnas sin asistentes	26
4.2.1.	Prueba piloto Nueva York.....	27
5.	MODELIZACIÓN	30
5.1.	Vehicle Routing Problem	30
5.2.	Caso 1 – Única Parada.....	33
5.2.1.	Comparativa de descarga diurna – nocturna	34
5.2.2.	Distribución nocturna y sin asistencia.....	34
5.3.	Caso 2 – Ruta de múltiples paradas.....	35
5.3.1.	Aplicación de VRP	35
6.	APLICACIÓN A BARCELONA. PLANIFICACIÓN Y FACTIBILIDAD DE UNA ENTREGA NOCTURNA SIN ASISTENTES EN BARCELONA	42
6.1.	Aplicación a Barcelona.....	42
6.1.1.	VRP Aplicación Barcelona Caso 1	42
6.1.2.	VRP Aplicación Barcelona Caso 2	47

6.2.	Tecnología a instalar	51
6.2.1.	Costes de implementación	52
6.3.	Procedimiento a seguir	55
6.4.	Subvenciones factibles.....	55
6.5.	Balance final.....	57
6.5.1.	Balance de la empresa que dispone de transporte y establecimientos. .	57
6.5.2.	Balance del comercio autónomo.....	59
6.5.3.	Balance de la empresa transportista.....	59
6.5.4.	Balances.....	61
6.6.	Mejoras	62
7.	CONCLUSIONES E INVESTIGACIÓN FUTURA.....	64
	REFERENCIAS	65
	ANEXOS.....	68
7.5.	ANEXO 1. CÁLCULOS DE LOS CASOS	68
7.6.	ANEXO 2. VdT (VALOR DEL TIEMPO) EN BARCELONA	68
7.7.	ANEXO 3. PRESUPUESTO Y FICHAS TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN DE CONTROL DE ACCESOS Y CCTV EN LOS ESTABLECIMIENTOS.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Niveles históricos de congestión en Barcelona. Fuente TomTom Traffic	8
Figura 2 Pico matinal de tráfico. Tiempo extra de viajes. Fuente: TomTom Traffic	9
Figura 3. Pico de la tarde de tráfico. Tiempo extra de viaje. Fuente: TomTom Traffic....	9
Figura 4.Valores de los índices contaminantes. Fuente: Dades de mobilitat 2015. Ajuntament de Barcelona.....	12
Figura 5. Vehículos estacionados en zonas prohibidas.	13
Figura 6. Esquema general del funcionamiento de una CCU. Fuente: STRAIGHTSOL ...	15
Figura 7. Sistema organizativo de la microplataforma en Barcelona. Fuente: Sol·lució última milla per el transport de Mercaderies. Xarxa MOBAL.	17
Figura 8. Micro distribución de mercancías Barcelona. Fuente: Una distribución más sostenible. Ajuntament de Barcelona.	18
Figura 9. Situación del Centro de micro-distribución de mercancías Barcelona. Fuente: Micro Distribució de mercaderies. Proba pilot als barris de Sant Pere, Santa Caterina i la Ribera. Ajuntament Barcelona.	18
Figura 10. CityPaq en la estación de RENFE Barcelona-Clot Aragó	20
Figura 11. VRP. Métrica L1.....	30
Figura 12. VRP. Métrica L2.....	30
Figura 13. VRP. Métrica L1 (Escalera)	31
Figura 14. Ejemplo de carretilla con ruedas neumáticas. Fuente: Leroy Merlin [32]	52
Figura 15. Croquis de la instalación a realizar en los establecimientos	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución del parque de vehículos año 2015. Barcelona. Fuente: Dades de mobilitat 2015. Ajuntament de Barcelona	11
Tabla 2. Índices de emisión de partículas. 2015. Fuente: Dades de mobilitat 2015. Ajuntament de Barcelona.....	11
Tabla 3. Evolución de los accidentes con víctimas en función del tipo de vehículo. Fuente: Dades de mobilitat 2015. Ajuntament de Barcelona	12
Tabla 4. Comparativa de la descarga diurna – nocturna. Fuente: Condis Supermercats	34
Tabla 5. Datos iniciales VRP Lleida	36
Tabla 6. Aplicación de la formulación VRP en Lleida.....	36
Tabla 7. Distancias óptimas obtenidas por VRP en Lleida.....	37
Tabla 8. Cálculo de la velocidad media Lleida.	38
Tabla 9. Estimación del factor de aumento de la velocidad nocturna a Lleida.....	38
Tabla 10. Velocidades medias VRP Lleida	38
Tabla 11. Tiempos de recorrido entre puntos y tiempo de conducción para VRP en Lleida	38
Tabla 12. Tiempo total de viaje por VRP en Lleida	39
Tabla 13. Cálculo del salario medio.	40
Tabla 14. Coste de las emisiones contaminantes.....	40
Tabla 15. Emisiones por camión para el caso de Lleida	40
Tabla 16. Comparativa de desplazamientos en Lleida	41
Tabla 17. Datos iniciales VRP Barcelona CASO 1	43
Tabla 18. Aplicación de la formulación VRP Barcelona CASO 1	43
Tabla 19. Distancias óptimas por VRP en Barcelona CASO 1	43
Tabla 20. Estimación del factor de aumento de la velocidad nocturna en Barcelona...	44
Tabla 21. Cálculo de la velocidad media Barcelona CASO 1.....	44
Tabla 22. Velocidades medias Barcelona CASO 1.	44
Tabla 23. Tiempos de recorrido entre puntos y tiempo de conducción para VRP en Barcelona CASO 1.	45
Tabla 24. Tiempo total de viaje en Barcelona CASO 1	45
Tabla 25. Costes de mantenimiento de un camión CASO 1	45
Tabla 26. Coste flota de vehículos Barcelona CASO 1.	46
Tabla 27. Gasto combustible Barcelona CASO 1.	46
Tabla 28. Emisiones y gasto por emisiones en Barcelona CASO 1.	46
Tabla 29. Desplazamientos en Barcelona 2015, vehículos de mercancías vs vehículos privados.	47
Tabla 30. Datos iniciales Barcelona CASO 2.	48
Tabla 31. Aplicación de la formulación Barcelona CASO 2.....	48
Tabla 32. Distancias óptimas por VRP en Barcelona CASO 2	49
Tabla 33. Cálculo de la velocidad media Barcelona CASO 2.....	49
Tabla 34. Velocidades medias Barcelona CASO 2.	50

Tabla 35. Tiempos de recorrido entre puntos y tiempo de conducción Barcelona CASO 2.	50
Tabla 36. Tiempo total de viaje Barcelona CASO 2.	50
Tabla 37. Emisiones por camión para de Barcelona CASO 2.....	51
Tabla 38. Presupuesto instalación de un sistema de control de accesos.	53
Tabla 39. Balance CASO 1 Barcelona.....	58
Tabla 40. Subvenciones propuestas CASO 1 Barcelona.	58
Tabla 41. Amortización con subvenciones propuestas CASO 1 Barcelona.....	58
Tabla 42. Balance CASO 2 LLEIDA.....	60
Tabla 43. Amortización con subvenciones propuestas CASO 2 Lleida.....	60
Tabla 44. Balance CASO 2 Barcelona.....	60
Tabla 45. Amortización con subvenciones propuestas CASO 2 Barcelona.....	61
Tabla 46. Balance de tiempos de todos los casos.	61
Tabla 47. Balance de consumo de carburante de todos los casos.....	62
Tabla 48. Balance de contaminación de todos los casos	62

1.INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Antecedentes

Desde el origen del ser humano se ha utilizado la logística sin saberlo, ya que por entonces almacenaban la comida en cuevas, para así disponer de alimentos durante todo invierno cuando era muy difícil conseguir comida. Ellos sin saberlo fueron los primeros en gestionar el proceso de aprovisionamiento y llevar un control de inventario tan importante en nuestra actualidad. En aquellos tiempos los productos no se transportaban, eran consumidos en el lugar de encuentro lo que implicaba que los humanos debían de vivir cerca de las cuevas de almacenaje y así minimizar los simples transportes desde donde encontraban la comida.

Los comerciantes cerca del año 1500 a. C. fueron los primeros intermediarios, los cuales vendían artículos de lujo como marfil, vino, aceite, lino o artículos de metal. Aunque algunos productores vendían directamente, muchos necesitaban el concepto de intermediario, ya que estos compraban y almacenaban hasta que el consumidor quisiera comprarlas. En Roma aparecieron los vendedores ambulantes, los cuales transportaban su propia mercancía a diferentes ciudades.

Durante la Edad Media es cuando se empezaron a formar las rutas comerciales transcontinentales que tenían como objeto suplir la alta demanda europea de bienes y mercancías. Rutas famosas como la Ruta de la Seda, la Ruta de la Sal, la Ruta de la Tinta o de la Pimienta son famosas mundialmente por el producto en sí que transportaban. Las cruzadas fueron una ruta comercial muy importante, sin intención de serlo, ya que a causa del movimiento de las tropas, suministros, armas, etc. se revivió la economía de muchas zonas de Europa.

Con la Revolución Industrial el concepto de transporte de mercancías cambió drásticamente, ya que las mercancías podían ser fabricadas en cualquier lugar y ser transportada de manera muy barata. El ferrocarril fue una de las primeras aportaciones de la revolución del transporte, aunque en muchos lugares el transporte fluvial también tuvo un papel muy importante.

Antes del siglo XIX los viajes transatlánticos entre América y Europa se realizaban mediante barcos de vela, con los barcos a vapor las travesías se volvieron más rápidas y seguras.

Finalmente la aparición del automóvil y la construcción de carretera provocaron que las mercancías se pudieran transportar a puntos exactos de consumo.

Actualmente el transporte de mercancías se realiza en su mayor parte por barco cuando es intercontinental ya que estos tienen una capacidad muy elevada y un tiempo de viaje aceptable. Pero el transporte de mercancías por carretera es el más utilizado, aunque

se debe de tener en cuenta que es de los más contaminantes, y es el responsable en gran medida de las dificultades medio ambientales y sociales que se tienen actualmente ya que repercuten en la calidad de vida de los ciudadanos.

1.2. Objetivos

Con este proyecto se intenta dar solución a la distribución urbana de mercancías en ciudades como Barcelona, mediante nuevas iniciativas para aliviar problemas de tráfico, contaminación, pérdida de tiempo a causa del tráfico, accidentabilidad y ruido.

Para aliviar los problemas ocasionados por el transporte de mercancías por carretera se necesita realizar una gestión optimizada de este.

- En primer lugar hay que tener en cuenta la geografía urbana de las ciudades implicadas como también la gestión del tráfico para así evitar las congestiones de las horas punta.
- La escasez de lugares de estacionamiento habilitados para las entregas de mercancías dentro de las ciudades complica la entrega de productos en los centros de las urbes.
- Se debe de tener en cuenta que en las ciudades hay restricciones en cuanto al volumen de la carga de vehículos ya sea por las elevadas emisiones de los grandes camiones como por que físicamente no pueden entrar en los centros urbanos.
- Los cambios en la forma de comprar han influido en gran medida en la manera de operar las mercancías ya que actualmente mediante el comercio electrónico hay una demanda aparte de los comercios convencionales.

Por todo esto se ha visto oportuno estudiar la viabilidad de la distribución urbana de mercancías nocturna en Barcelona para poder aliviar todos estos problemas y mejorar la calidad de la población.

2. ESTADO DEL ARTE

Actualmente Barcelona se encuentra en un estado crítico de congestión de tráfico, altas emisiones nocivas a la atmosfera, ruido urbano y problemas en general relacionados con el transporte por carretera. Estos valores se han visto incrementados en los últimos años, un ejemplo son los niveles de congestión, Figura 1, en la gráfica se puede observar el tiempo extra que pierde un conductor que se desplace por Barcelona en función de los años. Se puede observar como con la crisis económica sufrida en los últimos años, el tiempo perdido mejoró levemente volviendo a aumentar en los últimos años.

La empresa TOMTOM TRAFFIC INDEX realiza un ranking de las peores ciudades del mundo en cuestión de tráfico. En el 2016 Barcelona ha salido como la peor de España y se encuentra en el número 68 del ranking mundial. La web no solo analiza el estado del tráfico sino sus datos más influyentes como, la velocidad media en la ciudad, los picos de tráfico durante el día o el tiempo que pierde cada conductor en la carretera.

Los resultados han sido que en Barcelona el porcentaje medio de tiempo perdido a causa del tráfico es del 31%, en este caso implica que cada conductor pierde de media 31 minutos diarios en la carretera por culpa del tránsito, lo que conlleva a perder 119h al año en atascos. Estos valores son el resultado de la consideración del tiempo extra durante las horas punta, comparado con la situación descongestionada y multiplicada por 230 días que formarían un año laboral (5 días a la semana sin contar vacaciones).

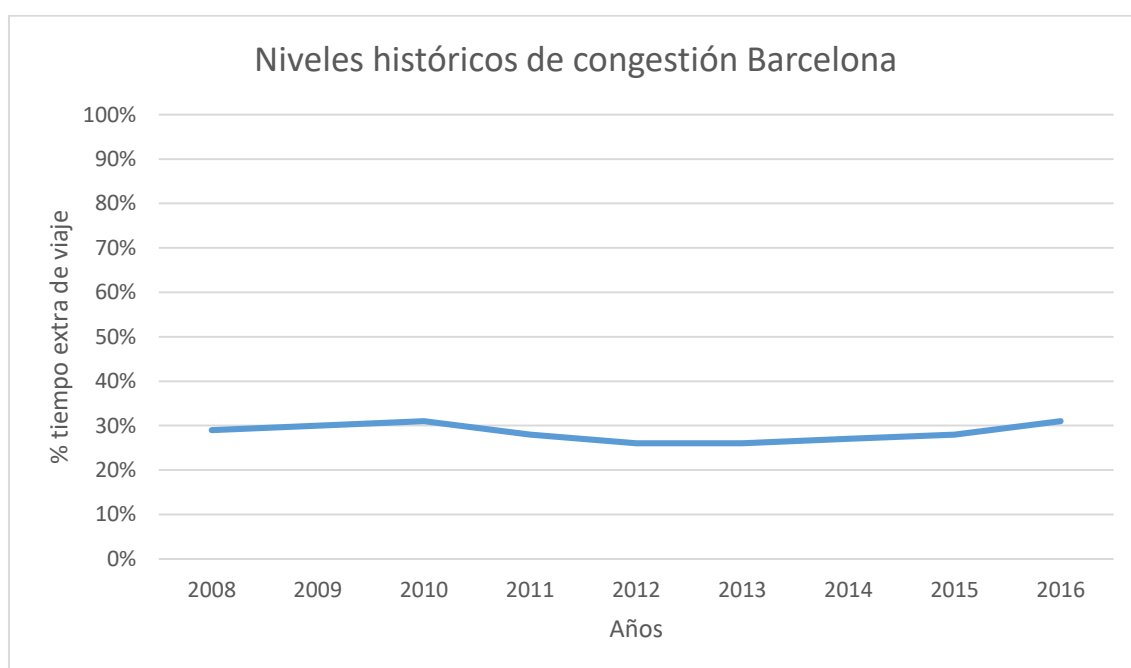


Figura 1. Niveles históricos de congestión en Barcelona. Fuente TomTom Traffic

Durante las horas punta de la mañana y de la tarde se encontrarán incrementos sustanciales que afectan negativamente a la movilidad urbana. Como se puede ver en la Figura 2, el pico matinal máximo de la semana son los lunes y los jueves de 8:00 a las 9:00 con un 53% de tiempo extra aunque el resto de días varían niveles entre 48% y 52%.

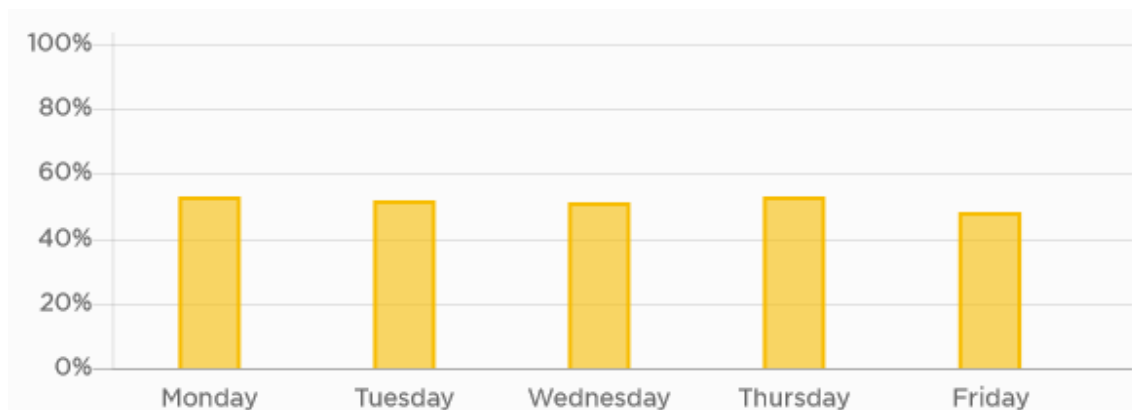


Figura 2 Pico matinal de tráfico. Tiempo extra de viajes. Fuente: TomTom Traffic

En el caso del pico de la tarde, se habla de entre las 18:00 y las 19:00 horas con un tiempo extra a causa del tráfico del 56% los jueves (Figura 3) y el resto de días entre 49% y 54%.

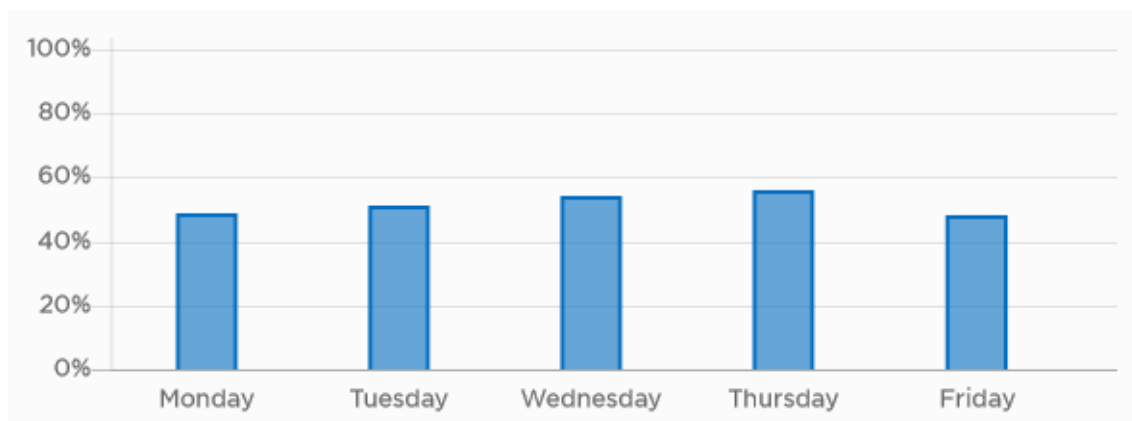


Figura 3. Pico de la tarde de tráfico. Tiempo extra de viaje. Fuente: TomTom Traffic

La contaminación ambiental no es un factor a despreciar, día a día se toman nuevas medidas para poder controlar este factor que concierne a toda la población, ya que es la causa de más de 15.000 muertes en España. En el campo de la movilidad es realmente importante la reducción de gases nocivos ya que el transporte es una de las mayores causas de contaminación de las ciudades.

En Barcelona el 60% de las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) provienen de los vehículos así como el 21% de las partículas en suspensión ($\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10}).

2.1. DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS

La distribución urbana de mercancías, a partir de ahora DUM, nace de la necesidad de abastecer a las ciudades de manera diaria y rápida de los elementos indispensables para la vida cotidiana de los habitantes.

Esta práctica desencadena que cada comercio necesita abastecerse de sus productos, en ocasiones diariamente y en la mayoría de casos a primera hora de la mañana. Un ejemplo sería una pescadería, que necesita recibir la mercadería fresca tan pronto como sale de la lonja. Este simple ejemplo se multiplica por todos los comercios de la ciudad.

Hasta hace pocos años esta práctica dentro de las ciudades se ha realizado con vehículos motorizados de tamaños medios y grandes, lo que ha ocasionado que las ciudades se colapsen entre los vehículos privados, públicos y los de distribución. Según datos del 2015, se realizaban alrededor de 440.000 desplazamientos diarios relacionados con la DUM lo que supone más de un 13% del total del volumen de tráfico privado.

Actualmente se prevén lugares destinados a la carga y descarga de mercancías para favorecer este servicio y no molestar al resto de vehículos. Pero la distribución urbana de mercancías actual es mucho más compleja de lo que era en antaño ya que no solo los comercios reciben mercancía y no solo en la hora punta de la mañana sino que debido al gran aumento en las ventas online, se deben distribuir paquetería en todos los domicilios de la ciudad.

La DUM no solo afecta a la congestión de las ciudades sino también a la contaminación ambiental y acústica, por ello es esencial que se optimice al máximo. Para poder entender el problema, a continuación se muestran los datos más significativos en los que están involucrados los vehículos de transporte de mercancías en la ciudad de Barcelona.

Teniendo en cuenta los datos extraídos del informe “Dades Bàsiques de Mobilitat del 2015 del Ajuntament de Barcelona” se realizan las siguientes afirmaciones.

La flota de furgonetas y camiones ha crecido en un 1% con respecto al año 2014, y un 17,9% respecto el año 2012. Hay que tener en cuenta que observando los datos (Tabla 1) se ha disminuido considerablemente las nuevas adquisiciones en camiones y las empresas hacen sus apuestas por vehículos más pequeños y medioambientalmente sostenibles como son las furgonetas.

EVOLUCIÓ DEL PARC DE VEHICLES 2015									
ANY	turismes	motos i ciclom.	motos	ciclomotors	furg. i camions	furgonetes	camions	altres	TOTAL
2004	607.791	240.093	149.363	90.730	75.880	42.234	33.648	18.468	942.232
2005	617.291	252.042	160.392	91.650	76.306	43.549	32.757	19.533	965.172
2006	616.814	266.257	173.190	93.067	74.450	42.342	32.108	20.927	978.448
2007	617.022	278.671	184.888	93.783	73.491	42.234	31.257	21.967	991.151
2008	608.830	287.284	193.902	93.382	69.099	38.968	30.131	24.953	990.166
2009	599.534	290.341	199.407	90.934	64.695	36.175	28.520	27.333	981.903
2010	597.618	294.096	205.705	88.391	60.457	33.451	27.008	29.409	981.580
2011	591.733	295.733	210.328	85.405	57.942	31.831	26.111	30.937	976.345
2012	584.848	292.714	213.875	78.839	54.904	29.810	25.094	31.962	964.428
2013	564.194	266.689	203.414	83.275	63.919	41.875	22.044	19.709	914.511
2014	564.700	268.331	207.573	80.758	64.040	42.869	21.171	19.451	916.522
2015	570.345	273.718	214.837	58.881	64.711	43.948	20.763	19.738	928.512
composició	61,4%	29,5%	23,1%	6,3%	7,0%	4,7%	2,2%	2,1%	100,0%
15/14%	1,0%	2,0%	3,5%	-3,1%	1,0%	2,5%	-1,9%	1,5%	1,3%
15/12%	-2,5%	-6,5%	0,4%	-25,3%	17,9%	47,4%	-17,3%	-38,2%	-4,9%

Tabla 1. Evolución del parque de vehículos año 2015. Barcelona. Fuente: Dades de mobilitat 2015. Ajuntament de Barcelona

Cabe destacar que hay una limitación sobre los camiones de grandes dimensiones que circulan por el área céntrica de la ciudad y por ello se ha ido evolucionando a un mayor número de furgonetas dentro del núcleo urbano de Barcelona. Las limitaciones actuales que se presentan en el centro de la ciudad, prohíben circular vehículos pesados con matriculación anterior al octubre de 1994 (inferior a Euro 1).

Es evidente que el consumo de una furgoneta es inferior al de un camión y que estas también nos aportan una mejor movilidad dentro de la ciudad por lo que las ventajas no solo son medioambientales sino también logísticas.

Los índices principales de emisiones relacionados con la contaminación de vehículos son:

- PM₁₀ (Partículas sólidas).
- NO₂ (Dióxido de nitrógeno)
- CO (Monóxido de carbono)

Y todos presentan un empeoramiento respecto al 2014. (ver Tabla 2 y Figura 4)

EVOLUCIÓ DE LA QUALITAT DE L'AIRE QUE RESPIREM																			
c. Atmosfèrica	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	%15/14	%15/12
PM 10 (microg/m3)				46	48	47	46	47	44	40	39,9	31	34	32	25	25	29	16,0%	-9,4%
NO2 (microg/m3)	54	55	49	54	55	53	58	54	54	50	49,2	47	48	44	40	39	43	10,3%	-2,3%
Ozó (microg/m3)	31	32	26	27	30	29	32	32	33	35	38,7	44	40	44	47	46	46	0,0%	4,5%
CO (mg/m3)	1,14	0,94	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	25,0%	0,0%

Tabla 2. Índices de emisión de partículas. 2015. Fuente: Dades de mobilitat 2015. Ajuntament de Barcelona

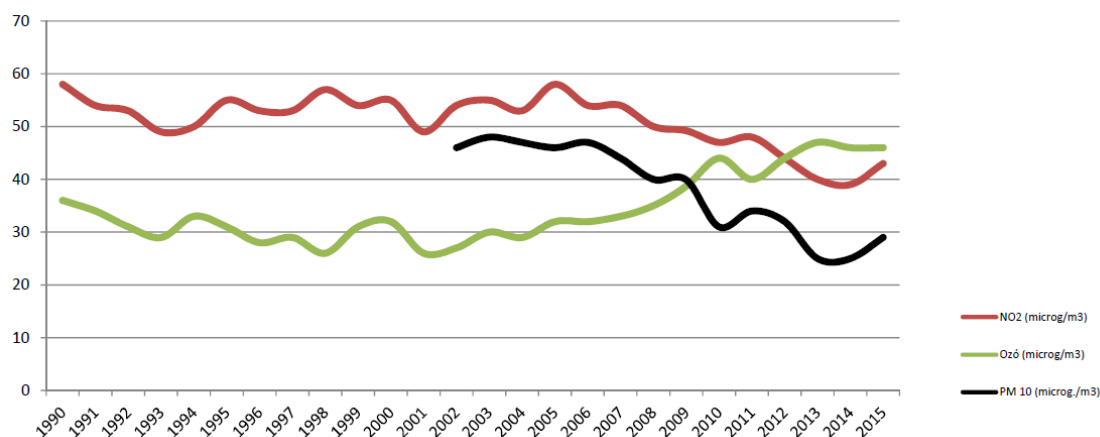


Figura 4. Valores de los índices contaminantes. Fuente: Dades de mobilitat 2015. Ajuntament de Barcelona

Por ello se han tomado diferentes iniciativas para potenciar el vehículo eléctrico en la ciudad tanto en uso privado como público, por ejemplo autobuses eléctricos y furgonetas eléctricas destinadas a la limpieza urbana.

Aparte de mejorar el tráfico y la contaminación medioambiental se debe de tener en cuenta un factor muy importante que se intenta disminuir al máximo, la seguridad. La evolución que se ha visto respecto la accidentabilidad con víctimas es preocupante ya que ha aumentado en un 6,8% a causa de los camiones respecto el 2014 y un 5,0% a causa de las furgonetas. Este grupo de vehículos encargados de en gran medida del transporte de mercancías, representan un 7,6% del total de accidentes en 2015 (Tabla 3).

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	%comp.	%15/14	%15/12	%15/05
TURISME	9.048	8.190	8.130	7.103	6.976	7.499	7.185	6.882	7.060	6.848	7.126	40,6%	4,1%	3,5%	-27,2%
MOTOCICLETA	3.660	4.126	4.459	4.443	4.551	4.633	4.600	4.791	5.087	5.418	5.762	32,9%	6,3%	20,3%	41,3%
CICLOMOTOR	3.273	3.095	2.846	2.401	2.012	1.668	1.397	1.274	1.130	1.185	1.049	6,0%	-11,5%	-17,7%	-196,8%
BICICLETA	387	376	413	485	501	414	523	677	609	672	681	3,9%	1,3%	0,6%	48,3%
CAMIÓ	398	388	367	349	320	543	506	260	281	263	281	1,6%	6,8%	8,1%	-41,6%
FURGONETA	1.249	1.305	1.283	1.129	1.122	1.206	1.124	1.013	1.042	1.008	1.058	6,0%	5,0%	4,4%	-18,3%
TAXI	819	792	782	757	812	857	871	998	888	968	958	5,5%	-1,0%	-4,0%	15,7%
ALTRES	662	660	710	626	632	546	614	555	573	573	620	3,5%	8,2%	11,7%	-7,3%
TOTAL VEHICLES	19.496	18.932	18.990	17.293	16.926	17.366	16.820	16.450	16.670	16.935	17.535	100,0%	3,5%	6,6%	-11,8%

Tabla 3. Evolución de los accidentes con víctimas en función del tipo de vehículo. Fuente: Dades de mobilitat 2015. Ajuntament de Barcelona

Como es de esperar, la ciudad debe de disponer de estacionamientos de carga y descarga para que estas se realicen con la máxima rapidez y efectividad posible sin distorsionar la normal actividad de los peatones y demás usuarios. Barcelona dispone a fecha del 2015 de 10.319 aparcamientos destinados a la carga y descarga, un 2,9% menos que en el 2014 y un 9,2% menos que en el 2012. Al aumentar el tráfico de mercancías y disminuir la cantidad de espacios reservados para este fin, se produce un aumento de las ilegalidades a la hora de intentar aparcar cerca del punto de descarga. (Figura 5). Las sanciones debidas al mal estacionamiento de los vehículos son de hasta 100€ y si se pagan en un plazo inferior a 20 días se puede reducir un 50%. Este es un factor que se verá más adelante que afecta gravemente a las empresas transportistas.



Figura 5. Vehículos estacionados en zonas prohibidas.

En Barcelona se ha implantado una nueva manera de utilizar los estacionamientos destinados a la carga y descarga. Se trata de una aplicación móvil (APP) llamada areaDUM y en la que los transportistas deben hacerse una cuenta con la que accederán a su perfil. El usuario debe buscar el estacionamiento donde está situado y seleccionarlo, en ese momento se iniciará una cuenta atrás con el tiempo de validez de un ticket virtual. Una notificación avisará al conductor que le queda poco tiempo de validez del estacionamiento y en cuanto acabe, debe de notificar que va a salir de éste. Este servicio es totalmente gratuito, pero se aplicará una sanción económica si no se cumplen las normas y el vehículo permanece más tiempo del indicado en el estacionamiento.

3.MEJORAS EN LA GESTIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS

Para poder mejorar la gestión actual de las urbes respecto la distribución urbana de mercancías, se han implementado diferentes tipos de iniciativas en diversas ciudades del mundo.

3.1. Centros de consolidación de mercancías

Esta iniciativa tiene como objetivo consolidar las entregas entre los receptores y los transportistas. Este programa se suele realizar agrupando en un centro logístico, fuera del foco urbano la mercancía de diferentes cargadores y así un solo camión lleva a cada punto de recepción la mercancía de diferentes empresas y no un camión de cada una. De este modo reduce la cantidad de vehículos en el centro de las ciudades y por consecuencia el tráfico, las emisiones de CO₂ y la contaminación acústica y visual.

Se intenta conseguir aumentar la productividad y el coste-eficiencia de las entregas. Para poder llevar a cabo esta iniciativa con éxito se requiere un compromiso de todos los agentes involucrados y será más efectivo cuando los proveedores y los receptores estén situados cerca. La planificación del proceso de implementación debe tener una amplia participación de los agentes interesados.

Implementar esta idea tiene tanto aspectos positivos como negativos. Como ventajas cabe mencionar que mejoraría los factores de carga ya que se reduciría la cantidad de entregas por comercio y gracias a esto se reduciría la congestión de la ciudad. Cada vehículo al realizar menos trayectos, recorrerá menos kilómetros, por lo que contribuirá a la sostenibilidad ambiental que se intenta mejorar en las ciudades actuales. Y finalmente, hay que tener en cuenta que este método de distribución tiene un coste económico muy bajo para todos los integrantes.

Aunque los aspectos positivos son muy llamativos también hay que mencionar que a raíz de esta implementación los precios de operación que cobran las empresas transportistas por transportar la mercancía puede aumentar debido que van a tener que hacer una mayor gestión y aumentar el stock en cada centro logístico. Y como es lógico para poder llevar a cabo el proyecto se requiere una alta coordinación entre todos los agentes implicados.

3.1.1. Centros híbridos de consolidación urbanos

A diferencia de los anteriores sistemas, los centros híbridos son terminales urbanos que están combinados con una instalación existente o infraestructura del área.

Este tipo de centros tiene dos ventajas en comparación con los anteriormente explicados.

- Da la posibilidad de generar sinergias con otros flujos de demandas.
- Permite utilizar una parte de una instalación existente para acomodar la nueva demanda y replantear el proceso de optimización.

Esta solución puede ser una buena alternativa para ciudades pequeñas y así aliviar la presión actual en la que se encuentra la DUM.

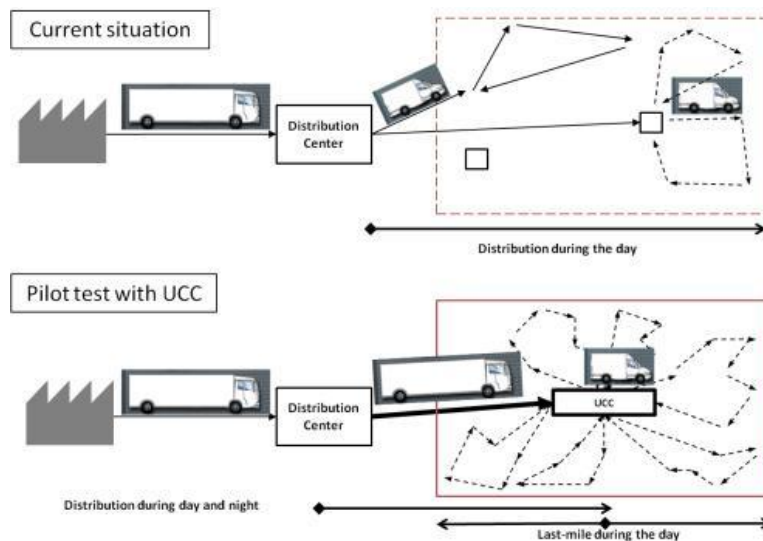


Figura 6. Esquema general del funcionamiento de una CCU. Fuente: STRAIGHTSOL

Hay que tener en cuenta que los ayuntamientos deben estar involucrados en el proyecto y tener una buena comunicación con los afectados.

Este tipo de estrategia es mucho más rentable que la clásica y por ello ha sido implantada en diferentes puntos de Europa como es el caso del Heathrow Airport Retail en Inglaterra y en L'Hospitalet del Llobregat, cerca de Barcelona.

3.1.1.1. Centro híbrido de consolidación en L'Hospitalet del Llobregat

En la ciudad barcelonesa de L'Hospitalet del Llobregat, se ha querido aliviar problemas causados por las entregas tipo "last-mile" en el área comercial de dicha ciudad, que han ido evolucionando negativamente a causa de los estacionamientos ilegales motivados por la saturación total de las plazas de carga y descarga. Una de las causas de este problema, es el bajo aprovechamiento de carga de cada vehículo lo que implica un excedente de vehículos en la calle.

Este programa está dirigido a los comercios, los cuales cambiarán su dirección de entrega de mercancías al centro acordado, y cuando los productos se reciban, en una única furgoneta, se distribuirá a la correspondiente tienda.

Más de 100 comercios se consideraron para participar en la prueba pero solo 70 fueron seleccionadas para participar. A cambio se incentivó estos comercios a participar con anuncios en la prensa local e insignias para anunciar su responsabilidad social y ambiental con la ciudad. Solo 9 comercios no quisieron participar en la prueba.

La prueba empezó el 18 de febrero y finalizó el 31 de Mayo del 2013. DHL, la cual ha sido la coordinadora del CCU con el soporte del CENIT (Centre d'Innovació al Transport) y el ayuntamiento de L'Hospitalet del Llobregat actuó como promotor de la iniciativa y especialmente sobre la asociación de comercios de la ciudad. *Estrada, M., Roca-Riu, M. (2013)*

DHL decidió tener tres centros de distribución en cambio de uno, para así servir a diferentes zonas de la ciudad.

- Can Serra: El cual ya era un mercado que se tenía que modificar para estas prácticas.
- La Farga: Un gran centro de convenciones en el centro de l'Hospitalet en el que se realizan ferias.
- Gran Vía 2: Un centro comercial más alejada de las dos zonas anteriores.

Cada uno de los centros tenía asociado una cadena de distribución diferente para así mantener la idea inicial de reunir todas las entregas en una sola instalación y distribuir las desde ahí.

Al final del periodo de estudio, se movieron aproximadamente unos 350.000 paquetes, se pudo observar diferentes beneficios, pero sobretodo la reducción de un 25% de los costes de transporte. Pero observando el balance total del estudio, los costes totales no se ven reducidos, ya que los costes de implantación y gestión de las instalaciones son bastante elevados.

3.1.2. Microdistribución urbana de mercancías

La problemática del tráfico, emisiones de CO₂ o tiempos de trayectos no son los únicos problemas a los que se enfrenta la DUM. El casco antiguo de muchas ciudades cada vez supone un inconveniente más para los transportistas, ya que no solo suelen ser calles estrechas y de carácter peatonal, sino que cada vez más asiduamente se prohíben los vehículos en estas zonas. Este hecho está haciendo investigar nuevas formas de distribuir las mercancías de maneras más sostenibles y compatibles con estas zonas.

Una de las soluciones es la microdistribución urbana, es decir la consolidación de mercancías en un punto cercano al centro y la distribución de esta por métodos más ecológicos, como cargobikes, bicicletas eléctricas las cuales pueden transportar mercadería.

3.1.2.1. *Micro-distribución urbana de mercancías en Barcelona mediante bicicletas de carga*

En el año 2013 el Ayuntamiento de Barcelona a través del proyecto europeo SMILE, impulsó un nuevo proyecto piloto de micro-plataforma de mercancías en el centro de la ciudad condal.

Para empezar se captó empresas de distribución para que participaran en el proyecto y accediesen a realizar la parte final de la entrega de mercancías a través de esta nueva plataforma. Se consiguieron seis grandes empresas del sector, esto hace que el proyecto sea más viable y útil ya que se asegurará un flujo constante de mercancías.



Figura 7. Sistema organizativo de la microplataforma en Barcelona. Fuente: Sol·lució última milla per el transport de Mercaderies. Xarxa MOBAL.

Como se comentó anteriormente la zona óptima para realizar esta prueba es la zona centro de la ciudad, donde la prioridad mayoritaria de las calles es para los peatones y en la cual hay una actividad comercial muy alta. Por ello se optó por utilizar bicicletas eléctricas de carga las cuales pueden transportar una carga de unos 200 kg.

La plataforma tiene un concepto de espacio de gestión del transporte de mercancías al centro de la ciudad y no de almacén, de esta manera se pueden reducir los costes fijos y se simplifican las operaciones a realizar. *Palou, Neus (2016).*



Figura 8. Micro distribución de mercancías Barcelona. Fuente: Una distribución más sostenible. Ajuntament de Barcelona.

La micro-plataforma es una caseta prefabricada que se ha situado en un aparcamiento existente situado en una zona limítrofe del casco antiguo que facilita el acceso de los camiones y que a la vez tiene un acceso rápido de las bicicletas.



Figura 9. Situación del Centro de micro-distribución de mercancías Barcelona. Fuente: Micro Distribució de mercaderies. Proba pilot als barris de Sant Pere, Santa Caterina i la Ribera. Ajuntament Barcelona.

3.2. Carriles multi-usos

Un carril multiuso es un carril en el cual dependiendo de la hora va cambiando su utilidad. Es decir, puede ser un carril Bus, como zona de aparcamiento gratuita, zona de carga o descarga o zona de tránsito normal.

Barcelona dispone de varias calles que funcionan con esta dinámica para agilizar el tráfico en los momentos que más se necesita. El horario que utilizan estas calles son:

- De 8 a 10 horas y de 15 a 21 horas se destinara a la circulación ordinaria de vehículos.
- Entre las 10 y las 15 horas está ocupado para maniobras de carga y descarga.
- Entre las 21 y las 8 horas se puede destinar al aparcamiento libre.

Se ha comprobado cómo esta medida es efectiva, ya que ha reducido entre un 17 y un 53%, dependiendo de la hora, el tiempo de entregas de mercancías.

Actualmente Barcelona dispone de 5,5km de vías de este tipo lo que equivale a 850 espacios de estacionamiento extra.

3.3. Puntos de entrega

Este es un proyecto que actualmente se lleva a cabo en muchas ciudades del mundo y que cada vez tiene más éxito.

Un punto de entrega de paquetería es un espacio dentro de la ciudad donde en horas de poco tráfico se hace la descarga de la mercadería, de esta manera el cliente lo va a recoger en el momento que le resulte más cómodo. De este modo se reducen considerablemente los desplazamientos, logrando un ahorro de combustible, mejora del tráfico, ruido y medioambiente. Precisamente en la definición se puede ver la diferencia con los centros de consolidación, en este caso el cliente va a buscar el paquete al centro y no al revés.

3.3.1. Puntos de entrega dentro de tiendas físicas.

Los clientes pueden ir a buscar su paquete dentro del horario habitual del comercio y este utiliza su almacén como lugar de almacenaje de paquetes ajenos a su empresa, durante el periodo entre que se hace la entrega y el cliente lo viene a buscar.

Este servicio es más económico que uno puerta por puerta ya que el transportista se ahorra las diferentes paradas en cada domicilio y puede descargar varios paquetes en un solo punto.

Muchos comercios que comercializan online ofrecen el servicio de recoger en alguna de sus tiendas que el cliente elija la compra hecha sin ningún tipo de importe adicional.

3.3.2. Puntos de entrega en taquillas.

Este es un servicio que se está implantando cada vez más en las ciudades. Son unas taquillas situadas en lugares normalmente concurridos y de paso donde se almacenan

los paquetes durante un corto periodo de tiempo. El cliente cuando va a recoger el paquete, se le proporciona una clave para acceder a la taquilla y así lo recoge sin ningún tipo de asistencia humana en el proceso. Aunque no solo sirve para recibir paquetes sino que se puede realizar envíos siguiendo el mismo método.

En el caso de Barcelona, se dispone de puntos CityPaq de Correos. Esta empresa ha ido realizando nuevos puntos de entrega dentro de las ciudades hasta el punto que no solo se encuentran en lugares públicos sino también en portales privados, supermercados, gasolineras, empresas y en estaciones de metro o tren.

Dependiendo donde se encuentren estas taquillas, están abiertas las 24h los 365 días del año o solo el horario comercial del recinto donde se encuentren. Hay que tener en cuenta, que este servicio no es gratis y tiene una cuota para poder pertenecer a este plan.



Figura 10. CityPaq en la estación de RENFE Barcelona-Clot Aragó

El precio de los envíos dependerá de las zonas a las que se envíe, del tamaño y de la urgencia de este igual que si se realizara en una oficina de correos, pero con la limitación del tamaño y no del peso como pasa en oficina.

Este tipo de puntos de recogida no solo pueden servir para paquetes de particulares, sino también para mercancías de los comercios. Donde el mismo comercio podría ir a recoger su mercadería cada mañana por sus propios medios o que una empresa de transporte los llevara a las tiendas mediante vehículos sostenibles, como bicicletas eléctricas tal y como se ha visto en el apartado 3.1.2.1..

3.4. Cambio de horario en las entregas

Es un programa que pretende disminuir la demanda de transportistas durante las horas punta del día y distribuir durante el resto del día para así mejorar el tráfico dentro de las ciudades en las horas más complicadas, que suelen coincidir con la ventana horaria actual en las que se hacen las entregas.

Una de las ventajas más significativas de implementar esta iniciativa es la reducción de congestión en las horas punta, lo que influirá favorablemente en el descenso de las emisiones de ruido. Otro aspecto significativo es la mejora de la fiabilidad en la entrega de mercancías, ya que estas serán más eficientes teniendo en cuenta que el tiempo estimado para cada entrega se podrá estimar con más exactitud ya que las condiciones de tránsito serán más predecibles. Evitando estas horas conflictivas, se puede operar de manera más eficiente y se puede reducir el riesgo de tener accidentes sobre todo con ciclistas y peatones. Otra ventaja a tener en cuenta es que los trabajadores podrán ofrecer un servicio mejor a los clientes.

Pero hay que considerar que para poder llevar a cabo esta implementación se necesita una gran coordinación de los diferentes participantes y de las autoridades ya que es posible que se necesiten incentivos económicos para convencer a las empresas que participen.

3.4.1. Londres

En Londres más del 90% del tráfico es por carretera, lo que resulta muy evidente en la ventana horaria de 7 a 11 AM donde aproximadamente el 25% del tráfico es de mercancías.

Con estos datos es normal que se haya querido realizar un cambio en la manera de operar. Durante los juegos Olímpicos en el 2012 se realizaron pruebas durante las 6 semanas del evento sobre el potencial que tiene esta implementación para la ciudad. En estas pruebas se traspasó un 15% de las mercancías fuera de las horas punta.

Los resultados que se obtuvieron en estas 6 semanas fueron:

- Menos multas debidas al reparto en ventanas horarias que no se aplican.
- Ahorro de combustible, evitando las áreas colapsadas por el tráfico en las horas punta.
- Uso más eficiente de la flota de vehículos, realizando más viajes en el mismo tiempo.
- Mejora en el servicio al cliente, al mejorar la entrega y la fiabilidad de los tiempos de viaje.

- Viajes más seguros. Ya que los vehículos que circulan en horas menos transitadas tienen menos probabilidad de estar involucrados en un accidente con peatones o ciclistas.
- Al reducir la congestión, se reduce el estrés en la conducción.

Actualmente teniendo en cuenta estos favorables resultados, se está intentando implementar de manera permanente.

Jaz Chani (Coordinador de proyectos de DUM) expuso “Hemos realizado pruebas antes, durante y después de los Juegos Olímpicos y lo continuaremos, ya que se han demostrado los beneficios obtenidos para un negocio o una ciudad.” *Pink, Hayley (2016).*

“Ahora nos proponemos demostrar los impactos en todas las áreas afectadas (como los beneficios de la calidad del aire) y con múltiples tipos de negocios, tanto grandes como pequeños.”

4.DISTRIBUCIÓN NOCTURNA DE MERCANCÍAS

Las entregas nocturnas de mercancías es una posible solución a los problemas de tráfico de las ciudades más grandes de nuestros países. Se basa en trasladar parte de las entregas que se hacen durante el día, sobre todo en las horas punta de tráfico, a una franja horaria nocturna donde normalmente no hay una gran actividad. Esta implementación aportaría diferentes ventajas a las ciudades como también a comercios y transportistas. *Holguín, J. et al. (2010)*

Los motivos por lo que esta práctica sería una buena opción son los siguientes:

- Las congestiones de tráfico son un problema común y su afectación económica repercute a toda la ciudad.
- El tráfico ralentiza los desplazamientos y aumenta su coste.
- Las entregas en horas punta pueden llegar a ser una molestia para los vecinos.
- Las entregas fuera de las horas punta pueden dar beneficios significantes.
Se ha demostrado como los beneficios afectan a muchos factores de la sociedad, no solo a los comercios y transportistas.
- Puede tener un impacto significativo en la cadena de suministro. Aumentando la eficiencia y la capacidad del sistema de carga.

Aun y así algunos se preguntarán ¿Si hay tantos aspectos positivos en esta actividad porque no hay más entregas en esta franja horaria actualmente?

- Hay un desajuste entre el coste y el beneficio.

Hay que tener en cuenta que los beneficios más destacables de la implementación de esta actividad se basan en reducir la contaminación, el tránsito dentro de las ciudades y la seguridad en las calles. Son aspectos que la ciudad valora, pero que para los negocios no se llega a materializar en un ahorro sustancial. Por lo que muchos negocios al no ver una mejora económica significativa realizando el cambio no tienen intención de integrar esta propuesta. El aumento en el ruido durante la noche puede ser uno de los motivos, pero se pueden mitigar con estrategias y equipamientos que lo reducen considerablemente.

Los comercios no verán directamente el incremento del coste de las mercancías ya que estos estarán disueltos en todo el mercado.

Otro motivo negativo que podría encontrar el comercio, es el coste extra que tendrá debido a los empleados y las medidas de seguridad que necesitará implementar durante la noche.

- Los negocios generalmente quieren recibir sus entregas durante el día y cuando están abiertos.

Hoguín-Veras afirma “Durante los dos años experimentales, recibir mercancías por la noche funcionó mejor que antiguos intentos de subir los peajes”. Lo que implica que aunque suban los precios de los peajes para las mercancías, éste tendrá un impacto poco significativo en el tráfico durante el día ya que los cargadores necesitan cumplir las demandas de carga en las horas acordadas, es decir, cuando abren a la primera hora de la mañana y esto no variará aumentando el precio.

- La localización y el tipo de industria puede afectar a la correcta participación.

No todos los negocios son idóneos para este proyecto, ya que dependerá de su localización o el tipo de industria.

Los negocios como restaurantes, bares, hoteles, supermercados 24 hs, grandes comercios de ropa e instalaciones médicas son los negocios más receptivos para recibir las mercancías de manera nocturna. De la misma manera los establecimientos grandes de más de 250 empleados o edificios con muchas empresas son los que tendrán más ahorro en número de viajes de camiones, coste de implementación y costes que pueden repartirse entre diferentes clientes.

Los centros de distribución pueden facilitar el trabajo de distribución de mercancías nocturna. Estos centros son instalaciones que reciben bienes de múltiples fuentes y que en este recinto pueden ser ordenados y agrupados para así de esta manera realizar menos entregas al destino final. Esta manera puede permitir más flexibilidad en los plazos de entrega y se pueden permitir hacer más rutas durante la noche. Estos tipos de centro de distribución también pueden ser útiles para un edificio solo o una zona de edificios en un área congestionada.

Algunos incentivos pueden ayudar a inclinar la balanza del lado del beneficio durante el programa, pero no siempre son necesarios ya que la mejora en el tráfico alrededor de las zonas de entregas ya es una mejora sustancial para los distribuidores. Se puede lograr un gran ahorro en tiempo de trayectos lo que supone un descenso del gasto en combustible.

4.1. Distribución nocturna en Barcelona

En diferentes ciudades de Europa, se ha empezado a realizar las entregas de manera nocturna. En Barcelona concretamente durante el año 2003 el supermercado

Mercadona empezó a realizar esta alternativa. Igual que Mercadona, otras empresas como Condis, Lidl o Consum también empezaron a realizar este tipo de entregas.

La empresa Mercadona, como las demás cadenas que realizan las descargas nocturnas, tiene un permiso por parte del área Vía Pública del Ayuntamiento de Barcelona en el cual se le permite realizar la carga y descarga nocturna, pero con la condición de utilizar material y tecnologías que minimicen el ruido.

Un ejemplo de procedimiento que se sigue es el establecimiento de la Calle de Sants 204:

- 23:00 hs. Un tráiler estaciona en el número 204 de la Calle de Sants en dirección contraria a la circulación. Se realiza la descarga de productos.
- 05:00 hs. Otro camión repite la maniobra anterior pero para en este caso descargar el material más perecedero (carne, pescado, fruta...).

En algunos casos se puede emplear la supervisión de la policía para realizar correctamente el estacionamiento de manera segura. Los vehículos estacionarán con las luces de posición y emergencia y se colocarán conos y limitadores de velocidad en el tramo afectado de 30 km/h.

A parte de la empresa Mercadona, hay más firmas que se han unido a esta iniciativa, como la empresa Condis. Cuando una empresa realiza las gestiones para adherirse al programa deberá cumplir una serie de requisitos que el Ayuntamiento exige como se explicaba antes. Por eso Mercadona y Condis han adaptado su flota de vehículos a unos más adecuados para este fin como elevadores hidráulicos, montacargas con motor eléctrico y ruedas de goma. Y los trabajadores tienen que tener especial atención en no elevar la voz.

Este es un factor clave para el éxito del proyecto ya que si los vecinos se quejan de esta actividad no se logrará implantarla permanentemente. Por ello se lleva un control por parte de la Guardia Urbana los cuales miden la contaminación acústica. Esta no puede superar los 56 decibelios en vías rápidas ni los 60 decibelios en el resto de calles. Para entonces el director de proyectos de movilidad del Ayuntamiento Juli Garcia añadió otro requisito más “Consultamos a los vecinos de la zona, y si la operación no cuenta con su visto bueno, simplemente no la empezamos”.

Mercadona en concreto, desde que se realizó la primera prueba piloto en un establecimiento en la calle València, la firma realiza las cargas y descargas en muchos de sus establecimientos mediante este sistema. Aunque para la empresa supone un gasto la adecuación de sus vehículos y material de carga y descarga como también el salario de sus trabajadores durante la noche creen que se ve compensado en otros factores. Un responsable de Mercadona ha explicado “Por la mañana utilizábamos 10 camiones, mientras que ahora funcionamos con dos tráilers por la noche”

La empresa Condis también realizó pruebas en un establecimiento de la calle Aragón por primera vez y ha ido sumando más. El director del área logística de Condis para entonces, Jordi Cusidó explicaba “El tiempo de desplazamiento, de descarga y de retorno se reduce

a la mitad” y según la información que han publicado, se han reducido al 50% los tiempos de entrega de los productos en los establecimientos.

Como se comentaba anteriormente los costes salariales hay que tenerlos en cuenta ya que tendrán un precio más alto que al trabajar de día. Hay dos modelos, *hard* y *soft*.

Hard se denomina para tiendas de mayor superficie, con un horario nocturno entre las 00:00 y las 06:00 horas, y se utilizan camiones de suministro de mayores dimensiones y mayor capacidad lo que se puede conseguir un incremento en la velocidad de entrega y una disminución de la distancia recorrida. Cabe añadir que se diseñan unos horarios rotativos por turnos para los trabajadores o un incremento de la plantilla. Este modelo puede suponer un ahorro en costes directos de transporte de 66.000 euros anuales por punto de venta.

El modelo Soft se utiliza para tiendas de menor superficie y que tienen un horario de reparto diurno entre las 14:00 y las 16:00 horas y entre las 20:00 y las 24:00 horas. Al ser comercios más pequeños se puede realizar las entregas en las horas valle, que suelen coincidir con las horas de comidas y las últimas cuatro del día. Para este caso no se tiene en cuenta ningún cambio en la masa máxima autorizada por lo que la distancia total recorrida al año no variaría, pero la velocidad comercial podría aumentar alrededor de un 34% respecto a repartir en hora punta. En este caso no se ve justificado un aumento del personal ya que estas entregas se pueden hacer durante el horario comercial o en el caso de ser fuera de ellas, podría ser el propio transportista haciéndole disponer de las llaves del local el que efectuaría la descarga por sus propios medios.

Algunas ventajas a considerar después de estas pruebas son:

- Ahorro de carburante.
- Evita la indisciplina viaria de parar en doble fila.
- Aparcar junto a la tienda.
- Utilizar vehículos de hasta 40 toneladas dentro de las ciudades.

4.2. Entregas nocturnas sin asistentes

Tal y como se ha explicado en el capítulo anterior las entregas nocturnas son una de las mejoras que se pueden realizar para reducir el tráfico en las ciudades a causa de las entregas de mercancías.

De hecho para algunos negocios quizás sería más idóneo realizar las entregas fuera de las horas punta pero sin asistencia. Significa que el conductor descarga la mercancía en el almacén sin necesidad de que se encuentre nadie en el comercio. Lo que implica una inversión en el comercio receptor para crear un área segura, pero siempre sin suponer un coste superior al coste de empleados durante la ventana horaria nocturna. La responsabilidad del cargador se reduce cuando el cliente le da las llaves del almacén con

doble puertas o con una zona perimetrada de acceso mediante sensores, ya que de esta manera estará controlado cuando entre en el almacén.

Pero hay que tener en cuenta un factor antes de implementar este proyecto a cualquier comercio, cuantas más entregas reciba más difícil es que participe en este proyecto, ya que se trata de hacer los mínimos viajes posibles y las mínimas entradas a su almacén durante la noche. Por lo que si este necesita recibir muchas entregas durante el día o de diferentes proveedores imposibles de integrar en un centro de distribución no tendrá ningún sentido esta nueva implementación.

4.2.1. Prueba piloto Nueva York

La ciudad escogida en primer lugar para realizar este proyecto fue Nueva York. El profesor Jose Huguin-Veras, profesor en Rensselaer Polytechnic Institute y director del VREF (Center of Excellence for Sustainable Urban Freight Systems), ha sido el impulsor de este proyecto.

En el 2009 se realizó una prueba piloto en la que se trasladó las entregas de mercancías de 4 grandes empresas a horario nocturno donde hay menos actividad viaria por lo que se puede llegar a reducir considerablemente los tiempos de viaje para los transportistas como también reducir el tráfico en las horas punta de la gran ciudad.

Este proyecto empezó el 1 de Julio del 2007. La inversión aportada por el USDOT fue de alrededor de 1,2 millones de dólares. Y los socios colaboradores alrededor de 0,64 millones de dólares.

Los objetivos principales que se quisieron conseguir con este proyecto fueron:

- Introducir un significativo cambio en el horario del tráfico de mercancías hacia una ventana horaria de entregas fuera de las horas punta. Huguin-Veras en el 2008 estimó que para algunos ámbitos este turno de entregas podría ser de hasta el 20% del tráfico diario.
- Aportar una significativa mejora a la congestión del tráfico y condiciones medioambientales.
- Aumentar la competitividad de NYC, reduciendo el IVA a las empresas locales. La productividad aumentaría gracias a la mejora en el tráfico y habría una reducción importante en multas de parking (en algunos casos superan los 1000 dólares por mes).

La prueba piloto se basó en 4 socios industriales muy importantes en su ámbito, Foot Locker y New Deal Logistics, Sysco, Whole Foods Market y sus vendedores.

Al menos durante un mes cambiaron sus habituales rondas de reparto, a hacerlo durante la noche. Estuvieron plenamente involucrados en total 25 receptores y 8 cargadores.

Ya que entre cada uno de los socios industriales involucrados no hay ningún tipo de interacción se realizó el test de manera independiente entre ellos y se empezó tan

pronto cada uno de ellos estuvo listo para ello. Se debe de tener en cuenta que para realizar este proyecto los socios industriales tuvieron que realizar una considerable inversión para poder participar en el proyecto.

Para los cargadores, por cada empresa se le dio una subvención de 3000 dólares como manera de agradecimiento por sus esfuerzos, ya que este incentivo no cubre el coste de mantener a su plantilla las horas extra que deberán de hacer.

La primera empresa en empezar el proyecto fue Foot Locker y New Deal Logistics desde el 2 de Octubre al 14 de Noviembre del 2009. La segunda en empezar fue Sysco desde el 21 de Diciembre del 2009 al 23 de Enero del 2010. Y finalmente fue Whole Foods Markets y sus vendedores asociados desde el 28 de Diciembre del 2009 hasta el 31 de Enero del 2010.

Los comercios que recibían la mercancía recibieron un incentivo de 2000 dólares por el éxito del proyecto. Este dinero compensa los costes asociados con la adaptación del local. A los transportistas se les dio un incentivo de 300 dólares por camión, un valor mucho más reducido que los receptores ya que estos reciben un beneficio extra realizando este proyecto, reducción de combustible, de tiempo... Aunque un punto importante a comentar es que no se les dará esta ayuda si por culpa de tener pocos clientes interesados en esta práctica deben de realizar dos viajes, uno nocturno y otro durante las horas punta.

El principio fundamental de este proyecto es convencer a los comercios de recibir las mercancías en horario nocturno. Se puede hacer mediante incentivos para conseguir a cambio un compromiso con el proyecto, o también se puede utilizar el concepto de entrega de mercancías sin asistencia, lo que no requerirá de personal extra durante la noche. Los cargadores empiezan a beneficiarse del cambio a nocturno cuando un número elevado de comercios reciban sus mercancías en este horario. Las entregas en este horario pueden llegar a ser de un 20-30% más baratas que durante el día, lo que significaría que si pudiera pasar toda su ruta a nocturna acabaría ahorrando dinero, pero no es todo tan favorable, ya que si en cambio de hacer una sola ruta durante la noche debe de hacer dos, una a la noche y otra durante el día porque algunos comercios no quieren este tipo de entregas, este coste extra de dos turnos y dos rutas afectará negativamente al balance de costes.

Si se convence a los comercios que reciban la mercancía durante la noche se puede conseguir:

- La barrera que no permite realizar a muchos cargadores entregas nocturnas se eliminará. Por lo que un significativo número de ellos cambiará su horario.
- Se reducirá la congestión y se mejorarán las condiciones medioambientales.
- La competitividad del área urbana crecerá y las actividades comerciales serán más eficientes y productivas.

Mediante una investigación de conducta realizada por el proyecto se ha demostrado que la cantidad de participación por parte de los receptores aumenta conforme los incentivos ofrecidos. También se ha podido observar que las entregas durante la noche son un 30% más baratas que las entregas durante las horas punta. Los cargadores que más se inclinan a participar son aquellos que tienen unas rutas con menos paradas.

Para poder recoger datos reales y con alta fiabilidad se instaló un sistema de GPS adaptado al caso en un Smartphone. El conductor solo debe de activarlo al empezar su ruta y el dispositivo recolecta toda la información necesaria sin ayuda de éste. Se ha dado una gran importancia a que el conductor no deba de ir manipulando el teléfono durante su conducción ya que uno de los puntos más significativos de este proyecto es mejorar la seguridad tanto de los conductores como de los peatones y demás usuarios.

Este dispositivo se encarga de recoger tiempos de viaje entre cliente y cliente, tiempo en cada entrega y velocidades medias.

Algunas de las valoraciones extraídas para el informe de la prueba piloto fueron:

- Según los recibidores
 - Menos entregas durante las horas de trabajo lleva a disponer de más tiempo para atender a los clientes.
 - Los empleados son más productivos, ya que no tienen que esperar durante una ventana de entre 4 y 6 horas a que llegue la mercancía.
- Según los cargadores:
 - Menos tráfico a la noche conlleva a unas operaciones más eficientes.
 - Un camión puede realizar 5 entregas en 1 o 2 horas durante el horario nocturno, mientras que durante las horas punta llevaría 5 horas.
 - Se ve un potencial a largo plazo en términos de ahorro, teniendo un balance durante el día y la noche y teniendo una flota más pequeña.
 - Menos tiempo en atascos se traduce en un ahorro de combustible importante.
 - Menos multas de aparcamiento por estacionar en doble fila. Sysco en concreto anunció que ninguno de sus conductores recibió una multa de aparcamiento durante el curso de la prueba piloto y que tampoco hubo ningún tipo de queja por parte de sus clientes.
- Según los conductores:
 - Velocidades de viaje más altas.
 - Menos congestión.
 - Una gran mejora en parking disponible.
 - Menos estrés.
 - Menos tiempo en cada entrega.
 - Más rápido en completar una ruta.
 - Un aumento de la percepción de seguridad.

5. MODELIZACIÓN

Para poder explicar si la distribución urbana de mercancías nocturna y sin asistencia es viable en Barcelona he realizado dos modelos, que están basados en datos recolectados de diferentes fuentes para poder realizar una aproximación cuanto más realista posible y extraer unas conclusiones más significativas. En este caso al realizar un estudio de viabilidad de las opciones, se recorrerá al método de modelización de rutas VRP (Vehicle Routing Program) en el cual para unos datos dados reales se podrán modelizar rutas lo más cercanas a la realidad posible.

5.1. Vehicle Routing Problem

Como es lógico, un camión no puede abastecer todos los establecimientos de la ciudad en una sola ruta. Por ello se definen diferentes rutas y mediante una flota de vehículos se llega a todos los comercios que se necesite.

En este trabajo al no tener la información suficiente para optimizar una ruta real y sin suponer ninguna en concreto, se estudiara un modelo de ruta dentro de Barcelona donde se podrán extraer conclusiones significativas independientemente de las peculiaridades de cada ruta.

Para poder modelizar el recorrido de un camión en el área de Barcelona se ha utilizado el método VRP (Vehicle Routing Problem) donde el objetivo principal es optimizar la distancia de viaje total al mínimo. *Robusté, et al (1990)*

Para realizar esta formulación se asume que hay una flota de vehículos los cuales partirán de un almacén central y pasarán por N puntos dispersos por una área en dos dimensiones, A, y realizarán C paradas en cada ruta. En esta región, las localizaciones estarán caracterizadas por unas coordenadas cartesianas y unas distancias que se darán en base a una métrica L_1 (Cuadrícula, Figura 12) o en L_2 (Euclidiana, Figura 13).

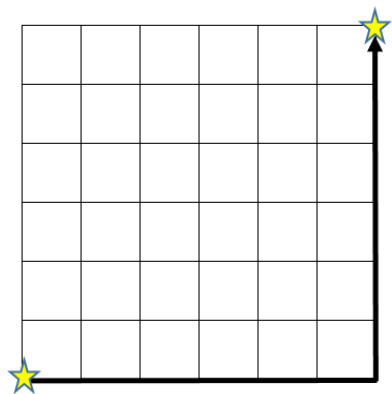


Figura 11. VRP. Métrica L_1 .

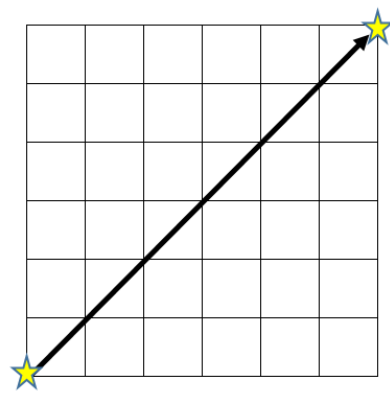


Figura 12. VRP. Métrica L_2

Como se puede observar en las figuras, la métrica L_1 es la más realista para poder modelizar el tráfico dentro de una ciudad, aunque con la métrica L_2 siempre se obtendrá una distancia más corta. Otra manera de razonar la métrica L_1 podría ser a modo de “escalera”, Figura 14, en donde la distancia final será igual a la que se ha enseñado antes, Figura 12, pero hay que tener en cuenta que son calles urbanas, es decir, en cada cruce habrá un semáforo, lo que implica una disminución de la velocidad media de recorrido y lo que conlleva un aumento en el tiempo de recorrido. De la forma anterior, además se será más sencilla para el conductor ya que es prácticamente directa, es más probable que éste se encuentre con semáforos en verde ya que la programación de estos está relacionada en todo el largo de la calle.

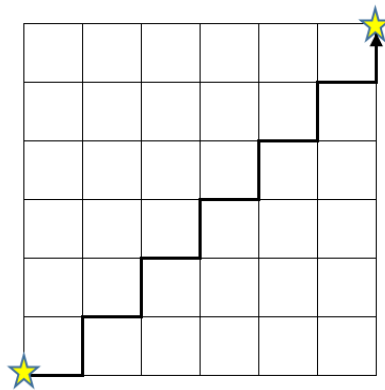


Figura 13. VRP. Métrica L_1 (Escalera)

Como se explicó anteriormente cada vehículo como máximo puede realizar C número de paradas antes de volver al punto inicial, este valor depende en diferentes factores pero el más importante es la capacidad del camión ya que no se puede abastecer más establecimientos de lo que se dispone en carga.

La simplicidad del modelo VRP nos permite poder despreciar información relevante para el estudio en general como ahora, restricciones horarias o la capacidad de los vehículos.

Cabe añadir que hay otro método para el estudio de estos problemas, el método TSP (Travelling Salesman Problem) es un caso particular del VRP donde se plantea que un vehículo visita todos los puntos del área $C \geq N$ con la mínima distancia. En este caso la región estará cubierta por una franja serpenteante de ancho casi constante, W y los puntos se visitaran en el orden de aparición a lo largo de la franja. Para una densidad de puntos dada, $\delta = N/A$, habrá un ancho de franja que minimiza la distancia esperada entre los puntos y por lo tanto la longitud del recorrido total.

Nuestro caso no se ajusta a este método, ya que no se cumple la primera condición, $C < N$ y por ello se aplicará el método VRP.

El método de VRP propone dos tipos de zonas de entregas una alargada o una redonda, pero las cuales se simplifican en el modelo como rectangulares, las cuales siempre están orientadas hacia la terminal.

Se obtendrá el número de rutas realizando el coeficiente entre el número de puntos totales entre los puntos que se pueden abastecer en una sola ruta, (N/C).

La formulación de este método está relacionada con la del TSP y por ello hay algunas fórmulas que dependen de valores calculados con sus ecuaciones.

En primer lugar es necesario saber la densidad de puntos (δ) en el área. $\delta = \frac{N}{A}$

Y a continuación el ancho óptimo (w^*) de la franja donde se realizará la ruta.

$$w_{TSP}^* = \sqrt{\frac{3}{\delta}}$$

$$w_{VRP}^* = \frac{w_{TSP}^*}{\sqrt{2}}$$

Estas ecuaciones indican que a mayor número de zonas estrechas se tendrá más precisión en el cálculo.



Una vez ya se tienen claros estos parámetros, se puede calcular las distancias mínimas de la ruta modelo.

$$L_1 = \frac{2\rho}{C} + \frac{0,73}{\sqrt{\delta}}$$

$$L_2 = \frac{2\rho}{C} + \frac{0,57}{\sqrt{\delta}}$$

Teniendo en cuenta que:

ρ : Distancia al centro logístico

Hay dos casos posibles en el cálculo del método VRP.

- Caso 1

$C \leq 6$ Lo que implica que la esbeltez óptima se puede considerar 1.

En este caso, se divide la región en aproximadamente en zonas de entregas prácticamente cuadradas, donde hay C puntos en cada una. Se trazan rutas TSP en cada una de las zonas. Se elimina el en lace más corto al centro logístico y se

une a este los dos puntos sueltos de la ruta (inicio y final) para finalizar se optimiza mediante ordenador.

- Caso 2

$C > 7$ En este caso la esbeltez óptima será inferior a 1.

Si $\beta^* \approx 4C/N$ – Se separará la zona en sectores circulares, de manera que se aplicará el método de barrido.

Si $\beta^* \approx 6/C$ – Se utilizará la esbeltez para definir las zonas de entrega del área.

Y se seguirá el mismo proceso de cálculo que en el caso anterior.

$$\begin{array}{ll} \text{Esbeltez} & \beta = \frac{2w}{L} \\ \text{Esbeltez óptima} & \beta^* = \min \left\{ 1, \max \left[\frac{4C}{N}, \frac{6}{C} \right] \right\} \end{array}$$

A continuación se explicarán los dos casos que se estudiarán en este proyecto y se verá la aplicación de este modelo para casos diferentes, como son las cadenas de supermercados y los distribuidores a pequeños comercios de diferentes marcas.

5.2. Caso 1 – Única Parada

Este primer se centrará en un supermercado, donde se necesita realizar entregas para abastecer sus establecimientos constantemente. Para este caso se ha podido obtener información de la empresa Condis Supermercats, que ha accedido a facilitar para el proyecto información sobre el trabajo que realizan actualmente de manera nocturna en Barcelona.

Condis Supermercats dispone de 155 establecimientos en toda la ciudad de Barcelona (sin contar las ciudades colindantes) y dispone de su centro logístico en Montcada i Reixac (Barcelona) a unos 15 km del centro, por lo que se supondrá una distancia media de las tiendas al almacén de 30 km.

Como se ha comentado en otros apartados del proyecto, son muy importantes las dimensiones de los vehículos que reparten en la ciudad, ya que están prohibidos en el centro los vehículos de alto tonelaje. La empresa utiliza el modelo IVECO Eurocargo Diésel, ya que éste es un vehículo de dimensiones aceptables para este uso pero lo suficiente pequeño y bajo tonelaje para acceder en el centro de las ciudades.

Cada establecimiento recibe aproximadamente 5 veces a la semana entrega de mercancía lo que implica que los camiones siempre van llenos y las rutas siempre son iguales.

Un concepto muy importante a tener en cuenta es el tiempo de descarga, para el caso de las entregas durante el día tardan aproximadamente 35 minutos por tienda y en el caso de las entregas nocturnas el tiempo disminuye a 20 min, es decir, un 42,8% más rápido.

5.2.1. Comparativa de descarga diurna – nocturna

Teniendo en cuenta que para una ruta de una sola parada con una distancia media de 30 km (ida y vuelta) se ha obtenido los siguientes resultados (Tabla 4) con respecto a repartir de día o de noche con tráfico fluido o denso.

	TRÁFICO FLUIDO		TRÁFICO DENSO	
	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
Recorrido + descarga	1h 53 min	1h 20 min	2h 30 min	1h 20 min
Consumo en	75 min de conducción: 11 lts	50 min de conducción: 7,5 lts	115 min de conducción: 17,25 lts	50 min de conducción: 7,5 lts
Ahorro de combustible en recorrido nocturno	32%		57%	
Reducción de emisiones de CO2	30%		53,5%	

Tabla 4. Comparativa de la descarga diurna – nocturna. Fuente: Condis Supermercats

Como se puede apreciar en la Tabla 4, el ahorro es importante, teniendo en cuenta que el tráfico fluido durante el día no suele ser el momento donde se suelen querer recibir las mercancías y aún y así el ahorro de combustible es muy importante, un 32%, una reducción de 30% de emisiones de CO₂.

Para el tráfico denso, se pueden ver resultados aún más espectaculares ya que se puede ahorrar más del 50% del carburante que se utiliza durante el día y de las emisiones de CO₂.

Con estos resultados se puede afirmar sin ningún tipo de duda que el cambio a distribución urbana de mercancías es una buena opción y aporta muy buenos resultados para este caso en concreto, más adelante se verá si para todos los casos resulta ser igual.

5.2.2. Distribución nocturna y sin asistencia

Se realizan diferentes tipos de entregas nocturnas en la empresa, unas son aquellas que se entregan entre las 22 y las 23 horas, en ese momento aún hay personal en el establecimiento lo que la organización se realiza en el momento. Por otro lado también están las entregas a altas horas de la noche, en las que van dos camiones en convoy con diferentes establecimientos como destino pero paran en las dos tiendas, así los repartidores se ayudan mutuamente a descargar y se maximiza la seguridad, en estas

descargas no hay personal en la tienda, por lo que los repartidores descargan la mercancía pertinente y van al otro establecimiento, y a la mañana siguiente el personal lo ordena antes de abrir al público.

Esta es la aplicación práctica y real de la distribución nocturna y sin asistencia realizada con éxito en Barcelona y que permanece en algunas tiendas. Actualmente la mayoría se hacen de manera diurna ya que realizar las entregas nocturnas son más complicadas por diferentes motivos, disponibilidad de espacio en las tiendas para poder dejar la mercancía durante la noche sin ordenar, minimización del ruido para no molestar a los vecinos, problemas burocráticos, ya que para realizar esta práctica que necesita un permiso especial del Ayuntamiento autorizando esta práctica durante la noche. Para conseguir este permiso se necesita realizar un simulacro con una empresa externa la cual mide el ruido realizado, y después se debe esperar a la aprobación del Ayuntamiento.

5.3. Caso 2 – Ruta de múltiples paradas

En este caso, al contrario del Caso 1 se plantea una ruta donde el camión deberá parar en diferentes puntos de la ciudad para realizar entregas, este tipo de entregas serán más rápidas y de menor volumen.

5.3.1. Aplicación de VRP

En este apartado se realizará un modelo teórico de la ruta de reparto de un vehículo con el método VRP, explicado en el apartado 5.1..

En este caso se ha realizado el modelo con datos obtenidos en la ciudad de Lleida a 160 km de distancia de Barcelona. Se ha tomado esta ciudad por facilidad de información, como se podría tomar cualquier otra. Lleida es la capital de provincia y es la segunda ciudad más importante en habitantes y región urbana de Cataluña.

Para este caso teórico se han tomado los siguientes datos obtenidos por una empresa local que reparte productos de primera necesidad (leche, agua, cereales, zumos, yogures, nata....) a pequeños y medianos comercios del centro de Lleida:

- Almacén en Torrefarrera (7,1 km del núcleo urbano).
- 3 Rutas con 30 puntos de descarga en cada una.
- Frecuencia semanal en los comercios.
- Descarga de la mercancía en carretillas.
- Los repartidores no cobran en el momento de la entrega. Ellos descargan y esperan a que el comercio compruebe y firme el albarán. En total tardan aproximadamente 15 min para cada punto de entrega durante el día.

- A causa de no encontrar espacio de estacionamiento cerca del lugar de entrega, la empresa recibe multas cada semana o cada 15 días de cada repartidor por estacionar en lugares prohibidos.
- En este caso se considera que para realizar 3 rutas a la semana dentro de la ciudad de Lleida, con un solo camión es suficiente. Por lo que aunque se tienen 3 rutas a abastecer se realizarán en días diferentes ya que no tendría sentido disponer de 3 camiones para poder distribuir todas las rutas el mismo día.

En primer lugar se preparan los datos iniciales para poder encontrar la distancia media más corta.

N	90
A (km ²)	50,3
C	30
L	27,5
p (km)	8

Tabla 5. Datos iniciales VRP Lleida

Donde,

N; Total de puntos en un área a subministrar.

A; Área de la zona afectada.

C; Puntos de entrega por ruta.

L; Longitud del rectángulo teórico de la ruta.

p; Distancia media al almacén.

En este caso cabe destacar que el área de la municipalidad de Lleida es de 211,7 km² ya que contempla zonas sin urbanizar, en este caso por los puntos de reparto solo están concentrados en el núcleo urbano de la ciudad se ha considerado un radio de 4km para englobar únicamente la zona afectada, por ello calculando el área $A = \pi r^2$ resulta una área de 50,3 km².

Una vez dados estos datos iniciales, se podrá comenzar a aplicar las formulas pertinentes explicadas en el anterior capítulo.

δ	1,8
W_{TSP}	1,3
W_{VRP}	0,9
β	0,1
β^*	1,0

Tabla 6. Aplicación de la formulación VRP en Lleida

Donde,

δ ; Densidad de puntos en el área considerada

W_{TSP} ; Ancho óptimo obtenido por el método TSP.

W_{VRP} ; Ancho óptimo obtenido por el método VRP.

β ; Esbeltez

β^* ; Esbeltez óptima

Una vez listados todos estos datos iniciales con la formulación siguiente conseguimos encontrar la distancia mínima entre cada uno de los puntos a entregar la mercadería lo que resultará la ruta óptima.

$$D_1 = \frac{2\rho}{C} + \frac{0,73}{\sqrt{\delta}}$$

$$D_2 = \frac{2\rho}{C} + \frac{0,57}{\sqrt{\delta}}$$

$D_1^*(\text{km})$	1,1
$D_2^*(\text{km})$	1,0

Tabla 7. Distancias óptimas obtenidas por VRP en Lleida

Tal y como se explicó anteriormente, se considerará la longitud más apropiada la D_1 ya que dentro de una ciudad las rutas se realizarán a través de las calles, por lo que el método Euclidiano no resultaría realista en este caso.

A partir de este punto se empiezan a contemplar las peculiaridades de cada caso, teniendo en cuenta la distancia obtenida mediante VRP.

Para una distancia obtenida, se desea saber en cuanto tiempo se recorrerá, por lo que se necesitará saber la velocidad media. En este caso el almacén se encuentra en las afueras del área de reparto y la velocidad de los accesos a la ciudad y del centro no es la misma ya que las rutas de accesos suelen ser vías rápidas sin obstáculos por lo que en este caso se ha realizado el siguiente planteamiento:

Si se multiplica el número de puntos (C) de la ruta por la distancia que hay entre cada uno de ellos (D_1) se conseguirá la distancia que recorrerá el vehículo en la ruta, en este caso es de 32,4 km, teniendo en cuenta este dato y que al almacén hay una distancia total de 11 km (ida y vuelta), sin tener en cuenta la distancia dentro de la ciudad. Por lo tanto un vehículo realizará un 66% de su ruta dentro de la ciudad y un 34% en rutas externas sobretodo de acceso al centro urbano.

Se han recogido los datos del “Pla de Mobilitat de la Ciutat de Lleida del 2010” Realizado por el Ayuntamiento de Lleida que la velocidad media en el centro de la ciudad es de 27,7 km/h y en los accesos de 38,8 km/h. Por lo tanto teniendo en cuenta los porcentajes de kilómetros de la ruta que están destinados al centro de la ciudad y cuales a los accesos de esta.

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA LLEIDA				
	V _{DÍA}	V _{NOCHE}	(%)	Distancia (km)
V _{CENTRO} (km/h)	27,7	36,01	66%	21,4
V _{ACCESOS} (km/h)	38,8	50,44	34%	11,0
			100%	32,4

Tabla 8. Cálculo de la velocidad media Lleida.

Aunque se debe de tener en cuenta que el informe del ayuntamiento no proporciona resultados de velocidades nocturnas, por lo que en este caso se ha aplicado el siguiente criterio:

Se han realizado 4 trayectos dentro de la ciudad de Lleida (mediante Google Maps) de distancias diferentes, a las 4 de la mañana y a las 8, dos horas significativas para el proyecto.

El resultado ha sido que para obtener la velocidad media nocturna, se ha aplicado un factor de aumento en comparación de la velocidad diurna del 30%.

Trayectos BCN (Aleatorios)	Distancia (km)	Noche 04:00	Día 08:00	Aumento (%)
TRAYECTO 1 Velocidad (km/h)	1,6	16,00	12,00	0,3
TRAYECTO 2 Velocidad (km/h)	6,2	26,57	20,67	0,2
TRAYECTO 3 Velocidad (km/h)	4,2	28,00	12,86	0,5
TRAYECTO 4 Velocidad (km/h)	2,3	17,25	13,80	0,2
			PROMEDIO	0,30

Tabla 9. Estimación del factor de aumento de la velocidad nocturna a Lleida

Se podrá encontrar la velocidad media para el cálculo del proyecto realizando la siguiente suposición:

$$V_m = \%_{km \text{ centro ciudad}} \cdot V_{m \text{ centro ciudad}} + \%_{km \text{ accesos ciudad}} \cdot V_{m \text{ accesos ciudad}}$$

Mediante esta sencilla ecuación se encuentran las velocidades tanto para durante el día como para la noche:

	Día	Noche
Velocidad de trayecto(km/h)	31,5	40,9

Tabla 10. Velocidades medias VRP Lleida

Con estos valores se podrá calcular el tiempo de conducción que realizan entre puntos de la ruta y el total de toda la ruta sin contar el tiempo de descarga.

	Día	Noche
t _{d1} (h)	0,034	0,026
Tiempo total conducción ruta (h)	1,03	0,79

Tabla 11. Tiempos de recorrido entre puntos y tiempo de conducción para VRP en Lleida

La empresa que ha facilitado la información ha informado de que actualmente cada descarga se realiza en aproximadamente en 15 minutos, teniendo en cuenta que los repartidores solo realizan la descarga y esperan a que el responsable del comercio compruebe el albarán y lo firme.

En el caso de la nocturnidad no se tienen resultados ya que nunca han realizado este tipo de trabajos pero se ha realizado una aproximación en relación a los resultados de la empresa Condis Supermercats en Barcelona donde se redujo en tiempo de entrega en un 43% (de 35 min a 20 min), en este caso se pararía de 15 a poco más de 8 minutos por entrega.

Por tanto, si se suma el tiempo que dedica cada repartidor en el vehículo y el tiempo de descarga por el número de descargas que se realizan (C) resulta el tiempo total de la ruta.

Tiempo total ruta	Horas
T _{DÍA} (h)	8,5
T _{NOCHE} (h)	5,1

Tabla 12. Tiempo total de viaje por VRP en Lleida

Se puede obtener un ahorro del 41% en tiempo por cada ruta.

Uno de los factores más importantes para los transportistas es el ahorro de combustible ya que como se ha podido ver en el Caso 1 realizando el cambio a nocturnidad el consumo de los vehículos se reduce considerablemente.

Teniendo en cuenta el consumo aproximado obtenido por Condis Supermercats tanto de manera diurna como nocturna (35l/100km durante el día con tráfico denso y 20l/100km de manera nocturna), estos valores pueden parecer muy altos, pero hay que tener en cuenta que estos camiones tienen una capacidad de hasta 15 toneladas y el tráfico les afecta muy negativamente en el consumo, aparte durante la tarea de descarga utilizan el motor para que funcione la plataforma elevadora y también al estar continuamente refrigerados ya que no se debe que olvidar que se está transportando alimentación en este caso, todos estos factores hacen que el consumo se dispare. Para el kilometraje que se realiza (alrededor de 10.000 km/año) se obtiene un consumo de 11,3 litros por ruta diaria y 6,5 litros por ruta nocturna, un 43% menos de combustible, lo que equivale a 664,14€ de ahorro de carburante al año teniendo en cuenta las 3 rutas necesarias para abastecer la ciudad de Lleida. En este caso como se ha explicado en el inicio del caso, al suministrar sólo 1 vez la semana, sólo se necesita 1 camión realizando salidas 3 días a la semana.

Hay que tener en cuenta que se están realizando trabajos de noche por lo que el precio de nuestra plantilla activa durante la noche aumentará e implicará un gasto extra de 716,34€.

Este valor se ha conseguido teniendo en cuenta que un contrato laboral según el BOE tiene de máximo 1788 horas laborables, y el salario mínimo para transportistas es de un salario base de 4€/h, se deberá tener en cuenta sus respectivos incrementos y una

media de negociación equivalente a lo que el empleado pueda negociar al firmar su contrato, para este caso 2,34€/h. Este valor está extraído del restante del valor de la hora media obtenida como el sueldo medio de un transportista, de 7,67€/h, y el sueldo base más incrementos pertinentes.

El incremento de nocturnidad no se añade a este valor ya que así se obtiene el salario medio diurno. Para el cálculo del nocturno se pueden ver dos filas distintas para el 2017 y para el 2018 ya que a partir del 1 del 2018 ha cambiado la norma y se aplica un 25% extra del salario base y durante el 2017 ha sido del 18%.

	Salario base hora	PPP Extras	Descanso legal	PP Vacaciones	Hora nocturna	Incremento media negociación	TOTAL Día
2017	4,0064	0,6982	0,1753	0,4516	0,695	2,34	7,6715
2018	4,0064	0,6982	0,1753	0,4516	1,0016	2,34	7,6715

Tabla 13. Cálculo del salario medio.

El salario diurno resulta ser de 13.716,64€/año y teniendo en cuenta que en el caso 1 solo se trabaja de noche durante 5 horas que es lo que dura una ruta 3 días a la semana, esto resulta ser un 40% de la jornada laboral es nocturna el resto diurna, por lo que el salario medio será de 14.432,99€/año.

Otro valor importante a contemplar en relación al vehículo es la contaminación que emiten. A continuación se realiza un estudio para visualizar si es posible mejorar este aspecto realizando las entregas de manera nocturna. Las autoridades pertinentes deben de pagar un impuesto por cada tonelada de CO₂ emitida a la atmosfera.

Coste contaminación	(€/t CO ₂)	(€/gr CO ₂)
Gasoil	160,0	0,00016

Tabla 14. Coste de las emisiones contaminantes.

Las emisiones de CO₂ del modelo Iveco Eurocarga diésel son de 500 gr CO₂/km.

BALANCE AUTORIDADES		Día	Noche
CONTAMINACIÓN	Emisiones CO ₂ (gr CO ₂ / km)	500,00	232,50
	Emisiones por ruta CO ₂ (gr)	16183,29	7525,23
	Emisiones total flota (gr/ día)	16183,29	7525,23
	Emisiones total flota (gr/ año)	2524592,80	1173935,65
	Emisiones total flota (ton/ año)	2,52	1,17
	Coste emisiones por ruta día (€)	2,59	1,20
	Coste emisiones total flota (€/ día)	2,59	1,20
	Coste emisiones total flota (€/ año)	403,93	187,83

Tabla 15. Emisiones por camión para el caso de Lleida

Al reducir en un 54% las emisiones, se podría reducir 1,4 toneladas de CO₂ al año solo para una empresa, lo que implica 216,11€.

Al inicio del proyecto se ha comentado la gran importancia del tráfico y el impacto que tiene la DUM en éste por eso se ha querido realizar un cálculo del beneficio que tendría para la sociedad si un 10% de las empresas de transporte realizaran esta iniciativa.

	Actualidad	Suposición
Desplazamientos DUM	40184	36166
Desplazamientos vehículo privado	228319	224301

Tabla 16. Comparativa de desplazamientos en Lleida

Actualmente un 18% del tráfico de vehículos privado es de mercancías lo que implica que si reducimos un 10% la cantidad de desplazamientos debidos a la DUM por el centro de la ciudad de Lleida se podrá apreciar una mejora de tráfico significativa, se podría pasar a tener 16% de tráfico privado.

6. APLICACIÓN A BARCELONA. PLANIFICACIÓN Y FACTIBILIDAD DE UNA ENTREGA NOCTURNA SIN ASISTENTES EN BARCELONA

6.1. Aplicación a Barcelona

Una vez vistos los dos modelos, se realizará una aproximación para la ciudad de Barcelona ya que es la incumbente en este proyecto.

En la ciudad de Barcelona hay diferentes tipos de comercios que necesitan la entrega de mercaderías, supermercados, pequeños y medianos comercios de barrio, tiendas de ropa, cafeterías, restaurantes, hospitales, etc. Pero no todos funcionan de la misma manera, por lo que el tipo de entregas variarán en función de la demanda de producto, de la capacidad de almacenaje que tenga, de la caducidad de los productos y de diferentes tipos de factores dotarán al comercio de más o menos flexibilidad en la recepción del producto.

Para los dos casos trabajados, se debe de tener presente que cada uno tiene una forma de funcionar distinta y unas ventanas horarias más o menos flexibles.

Un supermercado grande necesitará unas entregas más frecuentes ya que el volumen de ventas que realiza es muy voluminoso y de gran diversidad de productos. En cambio un comercio pequeño de venta de productos seleccionados necesitará la entrega de productos cada más tiempo y una cantidad muy controlada en función de las ventas que realice en la semana.

Por todo esto se ha creído oportuno la realización no solo de la viabilidad de la distribución urbana de mercancías sino de la comparación de la viabilidad en de dos tipos de comercios en Barcelona.

6.1.1. VRP Aplicación Barcelona Caso 1

El primer caso es la modelización de la empresa Condis Supermercats, pasara en un caso ideal, todas sus entregas a nocturnas. Tal y como ha comentado Jordi Panadés, el responsable de Transportes de Condis, debido al espacio en algunos de los establecimientos sería muy complicado realizar todas las entregas durante la noche.

En este caso se supondrá que todos los establecimientos disponen del lugar necesario para dejar la mercadería durante la noche, ya que es posible que a largo plazo se pueda conseguir.

La estrategia que sigue la cadena de supermercados es que durante el día pueden realizar más de una parada en su ruta y en cambio durante la noche solo realizan una efectiva y dos en total, ya que van en con otro vehículo para aumentar la seguridad de la mercancía y reducir el tiempo de descarga porque los conductores se ayudan entre ellos.

En este caso se supondrán tres paradas para las entregas diurnas y para las entregas nocturnas se realizarán también tres paradas pero con un conductor y un copiloto para que la tarea de descarga será más eficiente y rápida. En este caso se tendrá en cuenta una frecuencia de entregas de 5 días a la semana ya que son establecimientos más grandes que los que se tenían en el caso 1, y con un público más amplio.

	Día	Noche
N	155,0	155,0
A (km ²)	101,9	101,9
C	3,0	3,0
L	51,3	51,3
ρ (km)	15,0	15,0
Nº rutas	52,0	52,0

Tabla 17. Datos iniciales VRP Barcelona CASO 1

Dado que los datos iniciales con respecto la superficie afectada y los puntos N son iguales y la diferencia de C es mínima los valores w^* y la esbeltez no varían entre el día y la noche.

	Día	Noche
δ	1,5	1,5
W_{TSP}	1,4	1,4
W_{VRP}	1,0	1,0
β	0,04	0,04
β^*	1,0	1,0

Tabla 18. Aplicación de la formulación VRP Barcelona CASO 1

Se calcularán las dos distancias mínimas con el método de VRP, aunque al tener los mismos datos de inicio éstas no variarán.

	Día	Noche
$d_1^*(\text{km})$	10,6	10,6
$d_2^*(\text{km})$	10,5	10,5

Tabla 19. Distancias óptimas por VRP en Barcelona CASO 1

Como se puede observar, las distancias son muy grandes entre puntos de parada, pero se debe de tener en cuenta que en este valor, está incluida la parte proporcional de la distancia de ida y vuelta al almacén (30 km). Si se multiplica el número de puntos (C) de la ruta por la distancia que hay entre cada uno de ellos (D_1) se conseguirá la distancia total que recorrerá el vehículo en la ruta, en este caso es de 31,8 km.

A partir de este punto se empiezan a contemplar las peculiaridades de este caso, teniendo en cuenta la distancia obtenida mediante VRP.

Para el cálculo de las velocidades medias durante el día y durante la noche se ha seguido el mismo método que en el modelo de Lleida. Hay que tener en cuenta que el informe de movilidad no da los resultados medios de las velocidades de manera nocturna, el criterio que se ha tomado es de aumentar la velocidad de durante el día un 55% (Tabla 20), este valor se ha estimado realizando varias rutas por el centro de Barcelona (mediante Google Maps) y se han observado las diferencias de velocidad gracias al tiempo que da la aplicación estimada.

Trayectos BCN (Aleatorios)	Distancia (km)	Noche 04:00	Día 08:00	Aumento (%)
TRAYECTO 1 Velocidad (km/h)	6,4	27,4	11,0	0,6
TRAYECTO 2 Velocidad (km/h)	5,5	23,6	11,0	0,5
TRAYECTO 3 Velocidad (km/h)	6,3	27,0	10,8	0,6
TRAYECTO 4 Velocidad (km/h)	6,2	23,3	12,4	0,5
			PROMEDIO	0,55

Tabla 20. Estimación del factor de aumento de la velocidad nocturna en Barcelona.

Se han recogido los datos del “Informe de Mobilitat del 2015” realizado por el Ayuntamiento de Barcelona que la velocidad media en el centro de la ciudad es de 20,6 km/h y en los accesos de 59,2 km/h. Por lo tanto teniendo en cuenta los porcentajes de kilómetros de la ruta que están destinados al centro de la ciudad y cuales a los accesos de esta, se podrá encontrar la velocidad media para el cálculo del proyecto realizando la siguiente suposición:

$$V_m = \%_{km \text{ centro ciudad}} \cdot V_{m \text{ centro ciudad}} + \%_{km \text{ accesos ciudad}} \cdot V_{m \text{ accesos ciudad}}$$

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA BARCELONA					
	V _{DÍA}	V _{NOCHE}		Dist. Día (km)	Dist. Noche (km)
V _{CENTRO} (km/h)	20,6	31,93	56%	17,8	17,8
V _{ACCESOS} (km/h)	59,2	91,76	44%	14,0	14,0
			100%	31,8	31,8

Tabla 21. Cálculo de la velocidad media Barcelona CASO 1.

Por lo tanto un vehículo realizará un 56% de su ruta dentro de la ciudad y un 44% en rutas externas sobretodo de acceso al centro urbano. Mediante esta sencilla ecuación se encuentran las velocidades tanto para durante el día como para la noche:

	Día	Noche
Velocidad de trayecto(km/h)	37,61	58,29

Tabla 22. Velocidades medias Barcelona CASO 1.

El tiempo resultante de conducción se calcula multiplicando la distancia entre puntos por la cantidad de puntos totales (C) por la velocidad pertinente.

	Día	Noche
t_{d1} (h)	0,282	0,182
Tiempo total conducción ruta (h)	0,84	0,55

Tabla 23. Tiempos de recorrido entre puntos y tiempo de conducción para VRP en Barcelona CASO 1.

Teniendo en cuenta los tiempos aportados por la empresa Condis, el tiempo de descarga durante el día es de 35 min y durante la noche de 20 min. Lo que implica que realizando el sumatorio de los tiempo de descarga por las paradas a realizar en la ruta y el tiempo de conducción resulta que durante el día la ruta dura 2,6 h y en cambio durante la noche 1,55h un 40% menos.

Tiempo total ruta	Horas
$T_{DÍA}$ (h)	2,59
T_{NOCHE} (h)	1,55

Tabla 24. Tiempo total de viaje en Barcelona CASO 1

Una vez obtenidos estos resultados se puede observar que al optimizar las rutas se es posible optimizar también la logística de la empresa ya que se necesitarán menos vehículos para realizar las mismas rutas. Cuanta más pequeña sea la flota de vehículos de la empresa mejor, ya que ésta tendrá un gasto menor de mantenimiento y una inversión más pequeña.

Se podrá pasar de tener 18 camiones y realizar 3 rutas por camión a hacer 5 rutas por camión durante la noche y necesitar 11 camiones.

Teniendo en cuenta que la inversión de los vehículos se calcula de 110.000€ (70.000€ del camión y 40.000€ de la cámara isotérmica, equipo frigorífico y plataforma), encontrando un valor residual a los 10 años de 10.000€, se calcula una amortización anual de 10.000€ calculando 10 años de vida útil.

En este caso durante el trabajo nocturno los camiones realizarán más rutas, por lo que conlleva a realizar más kilómetros, lo que implica que el coste de mantenimiento no será igual.

CASO 1			Día	Noche
	Kilometraje anual (km)		30000	50000
	Neumáticos (cada 150.000 km)	1922,6	1922,6	1922,6
	Neumáticos (cada 30-50k km)		384,5	640,9
	Seguros (anual)		5369,1	5369,1
	Mantenimiento (€/km)	0,0296	888,0	1480,0
	Reparaciones (€/km)	0,031	930,0	1550,0
	Costes fiscales		995,6	995,6
	TOTAL		8567,2	10035,5

Tabla 25. Costes de mantenimiento de un camión CASO 1

Teniendo en cuenta el coste de mantenimiento de los camiones (Tabla 25), y el coste de amortización de estos, se puede extraer el coste final de la flota para la actividad diurna y nocturna teniendo en cuenta que en nocturno se tendrán menos vehículos.

FLOTA VEHÍCULOS		Día	Noche
	Rutas por camión	3	5
	Vehículos necesarios	18	11
	Kilometraje anual (km)	30000,00	50000,00
	Coste mantenimiento camión (€/año)	8567,19	10035,53
	Coste total flota vehículos (€/año)	334209,38	220390,87

Tabla 26. Coste flota de vehículos Barcelona CASO 1.

Para este caso se extrae un ahorro del 34% lo que equivale a un ahorro anual de 113.818,52€.

Otro factor importante a valorar es el ahorro de combustible, en este caso se obtiene un ahorro del 43% de combustible, considerando la disminución de camiones y que el consumo nocturno es inferior al diurno, se puede conseguir un ahorro de 56.508,39€.

COMBUSTIBLE		Día	Noche
	Consumo camión (l/100km)	35,00	20,00
	Consumo por ruta (l)	11,12	6,36
	Gasto Gasoil por ruta (€)	9,75	5,57
	Gasto Gasoil total (€/año)	131852,90	75344,52

Tabla 27. Gasto combustible Barcelona CASO 1.

Ligado a este hecho va el ahorro en emisiones de CO₂, el cual se reduciría en un 53%, lo que implica 117,42 toneladas menos de emisiones y un ahorro de 18.787,05€ por parte de las autoridades.

CONTAMINACIÓN		Día	Noche
	Emisiones CO2 (gr CO2/ km)	500,00	232,50
	Emisiones por ruta CO2 (gr)	15887,84	7387,85
	Emisiones total flota (gr/ día)	857943,43	406331,54
	Emisiones total flota (gr/ año)	223065292,39	105646200,98
	Emisiones total flota (ton/ año)	223,07	105,65
	Coste emisiones (€)x ruta día	2,54	1,18
	Coste emisiones total flota (€/ día)	137,27	65,01
	Coste emisiones total flota (€/ año)	35690,45	16903,39

Tabla 28. Emisiones y gasto por emisiones en Barcelona CASO 1.

Al igual que en el caso de Lleida se debe tener en cuenta que se están realizando trabajos de noche por lo que el precio de nuestra plantilla activa durante la noche aumentará e implicará un gasto extra de 94.265,51€.

El coste salarial diurno será igual al obtenido en el Caso de Lleida (Tabla 13), y resulta de 13.716,64€/año, teniendo en cuenta que en este caso se trabaja de noche días a la semana y 8 horas al día (toda la jornada laboral 1788 horas), el salario medio será de 15.507,50€/año.

En este caso también se ha querido realizar un cálculo del beneficio que tendría para la sociedad si un 10% de las empresas de transporte realizaran esta iniciativa. Actualmente un 21% del tráfico de vehículos privado es de mercancías, lo que implica que si

reducimos un 10% la cantidad de desplazamientos debidos a la DUM por el centro de la ciudad de Barcelona, se podrá apreciar una mejora de tráfico significativa.

Según los datos recogidos en los estudios de tráfico de TomTom Traffic, los viajeros pierden una media de 31 minutos al día a causa del tráfico de Barcelona. Al suponer una disminución del 10% de los vehículos destinados a la DUM, se podría reducir este valor a 28 minutos al día. Al año sería un ahorro de 12 horas.

El tiempo se puede monetizar mediante el VdT (VOT, Value of the time), valor del tiempo, que se puede entender como el valor monetario que tiene el tiempo de un individuo. Ese factor se calcula mediante el salario medio de la zona afectada y la retribución del tiempo diario de cada persona, es decir, cuanto tiempo dedica a diferentes actividades cotidianas y la importancia de estas.

En este caso el VdT calculado para Barcelona es de 5,91 €/h. (ANEXO 2). Este valor multiplicado por las 12 horas al año que la población se ahorra, dará el ahorro por persona al año y finalmente si se multiplica por la población afectada se obtiene el ahorro de la ciudad para este caso en concreto, cabe destacar que la ciudad tendrá más ahorros monetarios como es el desgaste de las infraestructuras o el ahorro en contaminación explicado anteriormente.

TRÁFICO		Actualidad	Suposición
	Desplazamientos vehículos privados	2060640	2017116,4
	Desplazamientos DUM	435236	391712,4
	% vehiculos mercancías	21%	19%
	% tiempo perdido en trafico	31%	28%
	Tiempo perdido (min/día)	31	28
	Tiempo perdido (h/año)	119	107
	VdT por persona (€/año)	702,31	632,07
	VdT toda la ciudad (€/año)	1129830360	1016847324

Tabla 29. Desplazamientos en Barcelona 2015, vehículos de mercancías vs vehículos privados.

Para el cálculo del ahorro de la ciudad se ha considerado la población actual en Barcelona (1.608.746 habitantes), aunque no es totalmente correcto considerar este valor, ya que hay muchos desplazamientos realizados por habitantes de la zona metropolitana o externa a esta, pero se ha considerado este valor para tener un valor significativo del ahorro posible.

6.1.2. VRP Aplicación Barcelona Caso 2

En este apartado se realizará una aplicación de los datos extraídos en del modelo de Lleida en Barcelona, es decir, un método de reparto con muchas paradas y pocos paquetes, que lo adaptaremos con los valores que se han visto en el Caso 1 en Barcelona propios de la ciudad, de esta forma se podrá realizar una comparativa entre los dos casos. Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Almacén en Montcada i Reixac (15 km del núcleo urbano).
- 3 Rutas con 30 puntos de descarga en cada una.
- Frecuencia semanal en los comercios.
- Descarga de la mercancía en carretillas.
- Los repartidores no cobran en el momento de la entrega. Ellos descargan y esperan a que el comercio compruebe y firme el albarán. En total tardan aproximadamente 15 min para cada punto de entrega durante el día.
- A causa de no encontrar espacio de estacionamiento cerca del lugar de entrega, la empresa recibe multas cada semana o cada 15 días de cada repartidor por estacionar en lugares prohibidos.
- En este caso se considera que para realizar 3 rutas a la semana dentro de la ciudad de Barcelona, con un solo camión es suficiente. Por lo que aunque hay 3 rutas a abastecer se realizarán en días diferentes ya que no tendría sentido disponer de 3 camiones para poder distribuir todas las rutas el mismo día.

En primer lugar se preparan los datos iniciales para poder encontrar la distancia media más corta.

N	90,0
A (km ²)	101,9
C	30,0
L	39,1
ρ (km)	15,0

Tabla 30. Datos iniciales Barcelona CASO 2.

Donde,

N; Total de puntos en un área a subministrar.

A; Área de la zona afectada.

C; Puntos de entrega por ruta.

L; Longitud del rectángulo teórico de la ruta.

ρ ; Distancia media al almacén.

Una vez dados estos datos iniciales, se puede comenzar a aplicar las formulas pertinentes explicadas en el anterior capítulo.

δ	0,9
W_{TSP}	1,8
W_{VRP}	1,3
β	0,1
β^*	1,0

Tabla 31. Aplicación de la formulación Barcelona CASO 2.

Donde,

δ ; Densidad de puntos en el área considerada

W_{TSP} ; Ancho óptimo obtenido por el método TSP.

W_{VRP} ; Ancho óptimo obtenido por el método VRP.

β ; Esbeltez

β^* ; Esbeltez óptima

Al suponer que al igual que en Lleida se dispone de un número de puntos totales (N) igual a 90 y 3 rutas de 30 puntos cada una (C). En este caso al ser un área mayor y a igualdad de puntos la densidad de puntos disminuirá lo que llevará a obtener unas distancias óptimas más largas.

$d_1^*(\text{km})$	1,8
$d_2^*(\text{km})$	1,6

Tabla 32. Distancias óptimas por VRP en Barcelona CASO 2

A partir de este punto se empiezan a contemplar las peculiaridades de este caso, teniendo en cuenta la distancia obtenida mediante VRP.

Como en cada ejemplo, se tomará para el cálculo la D_1 y teniendo las velocidades medias obtenidas para este caso son de 30,7 km/h y durante la noche de 47,64 km/h, los valores varían de los dos modelos en Barcelona, ya que para el cálculo de la velocidad media de cada caso ya que se tiene en cuenta el porcentaje de la ruta que se pasa en viales de accesos y cuales calles del centro de la ciudad. Como en este caso un 74% del recorrido de la ruta es en el centro de la ciudad las velocidades cambiarán.

Si se multiplica el número de puntos (C) de la ruta por la distancia que hay entre cada uno de ellos (D_1) se conseguirá la distancia que recorrerá el vehículo en la ruta, en este caso es de 53,3 km, teniendo en cuenta este dato y que al almacén hay una distancia total de 15 km (ida y vuelta).

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MEDIA BARCELONA				
	$V_{DÍA}$	V_{NOCHE}	(%)	Distancia (km)
V_{CENTRO} (km/h)	20,6	31,93	74%	39,3
$V_{ACCESOS}$ (km/h)	59,2	91,76	26%	14,0
			100%	53,3

Tabla 33. Cálculo de la velocidad media Barcelona CASO 2.

Aunque se debe de tener en mente que el informe del ayuntamiento no proporciona resultados de velocidades nocturnas. Por lo que en este caso se ha aplicado el mismo criterio que para el caso 1. Se han realizado 4 trayectos dentro de la ciudad de Barcelona (mediante Google Maps) de distancias diferentes a las 4 de la mañana y a las 8, dos horas significativas para el proyecto y se ha aplicado un factor de aumento para la noche de 55% (Tabla 20).

Se podrá encontrar la velocidad media para el cálculo del proyecto realizando la siguiente suposición:

$$V_m = \%_{km \text{ centro ciudad}} \cdot V_{m \text{ centro ciudad}} + \%_{km \text{ accesos ciudad}} \cdot V_{m \text{ accesos ciudad}}$$

Mediante esta sencilla ecuación se encuentran las velocidades tanto para durante el día como para la noche:

	Día	Noche
Velocidad de trayecto(km/h)	39,7	47,6

Tabla 34. Velocidades medias Barcelona CASO 2.

Con estos valores se podrá calcular el tiempo de conducción que realizan entre puntos de la ruta y el total de toda la ruta sin contar el tiempo de descarga.

	Día	Noche
t_{d1} (h)	0,058	0,037
Tiempo total conducción ruta (h)	1,73	1,12

Tabla 35. Tiempos de recorrido entre puntos y tiempo de conducción Barcelona CASO 2.

Teniendo en cuenta el tiempo de descarga utilizado en el caso de Lleida, 15 minutos durante el día y realizando una reducción del tiempo en nocturno del 43% (basado en los datos facilitados por Condis Supermercats), se obtiene un tiempo de descarga nocturno de poco más de 8 minutos.

Por tanto, sumando el tiempo que dedica cada repartidor en el vehículo y el tiempo de descarga por el número de descargas que se realizan (C) se podrá obtener el tiempo total de la ruta la cual se podrá obtener un ahorro del 42% en tiempo por cada ruta.

Tiempo total ruta	Horas
$T_{DÍA}$ (h)	9,2
T_{NOCHE} (h)	5,4

Tabla 36. Tiempo total de viaje Barcelona CASO 2.

Uno de los factores más importantes para los transportistas es el ahorro de combustible como se ha visto en el Caso 1, realizando el cambio a nocturnidad el consumo de los vehículos se reduce considerablemente.

Teniendo en cuenta el consumo aproximado obtenido por Condis Supermercats tanto de manera diurna como nocturna utilizado en los demás casos (35l/100km durante el día con tráfico denso y 20l/100km de manera nocturna). Se obtiene un consumo de 18,6 litros por ruta diaria y 10,6 litros por ruta nocturna, un 43% menos de combustible, lo que equivale a 1.093,75€ de ahorro de carburante al año teniendo en cuenta las 3 rutas necesarias para abastecer la ciudad de Barcelona. En este caso como se ha explicado en el inicio del modelo, al suministrar sólo 1 vez la semana, sólo se necesita 1 camión realizando salidas 3 días a la semana.

Hay que tener en cuenta que se están realizando los trabajos de noche por lo que el precio de nuestra plantilla activa durante la noche aumentará, del mismo modo explicado en el caso de Lleida, lo que implicará un gasto extra de 716,34€.

Otro valor importante a contemplar en relación al vehículo es la contaminación que emiten. A continuación se realiza un estudio para visualizar si es posible mejorar este

aspecto realizando las entregas de manera nocturna. Las autoridades pertinentes deben de pagar un impuesto por cada tonelada de CO₂ emitida a la atmosfera (Tabla 14).

Las emisiones de CO₂ del modelo Iveco Eurocargo diésel son de 500 gr CO₂/km.

BALANCE AUTORIDADES		Día	Noche
CONTAMINACIÓN	Emisiones CO2 (gr CO2/ km)	500,00	232,50
	Emisiones por ruta CO2 (gr)	26651,45	12392,92
	Emisiones total flota (gr/ día)	26651,45	12392,92
	Emisiones total flota (gr/ año)	4157626,12	1933296,15
	Emisiones total flota (ton/ año)	4,16	1,93
	Coste emisiones por ruta día (€)	4,26	1,98
	Coste emisiones total flota (€/ día)	4,26	1,98
	Coste emisiones total flota (€/ año)	665,22	309,33

Tabla 37. Emisiones por camión para de Barcelona CASO 2.

Al reducir en un 54% las emisiones, se podría reducir 2,22 toneladas de CO₂ al año solo para una empresa, lo que implica 355,89€.

En el apartado 6.5 se ver el resultado final, del balance de ganancias y gastos de los dos casos y la comparativa entre ellos.

6.2. Tecnología a instalar

Los transportistas deben adecuar sus vehículos y sus herramientas de carga y descarga para minimizar al máximo la contaminación acústica producida por estos. Algunas de las mejoras que se pueden realizar son las siguientes:

- Ruedas de goma en los carros que utilizan para transportar las mercancías del camión al almacén.
- Camiones que disponen de un motor eléctrico aislado para así reducir el ruido que producen.
- Plataformas especiales, en algunos casos la caja del motor de la plataforma elevadora está cubierta de fibra de vidrio para atenuar el ruido.
- Camiones a gas, ya que son más silenciosos.

Los comerciantes por otra parte también deberán adecuar sus instalaciones para que el transportista pueda entrar en el almacén por la noche sin que nadie propio del comercio lo espere. Para poder efectuar esta operación se deberán disponer mejoras a la accesibilidad como las siguientes:

- Puerta con lector de tarjetas magnéticas.
- Cámaras de vigilancia exteriores e interiores.

6.2.1. Costes de implementación

Averiguar el coste de implementación de las mejoras explicadas para los vehículos es difícil ya que vienen incluidas en los modelos y las empresas ya compran los vehículos con estos extras.

Aunque la gran mayoría de las descargas que se realizan actualmente se hace mediante carretillas lo que una mejora que se debería de hacer es cambiar las carretillas actuales por unas de ruedas neumáticas para así aliviar los problemas acústicos producidos por estas.

Se ha considerado un presupuesto de 120€ por unidad y teniendo en cuenta que en cada camión deberá haber al menos 1 carretilla. En todos los modelos se ha considerado 1 carretilla por camión con el importe anterior.



Figura 14. Ejemplo de carretilla con ruedas neumáticas. Fuente: Leroy Merlin

Pero si se puede realizar un presupuesto para la implementación en tienda de una entrada digitalizada y un sistema de vigilancia y alarma para un local intermedio. Mediante los datos extraídos de “l’Enquesta d’Activitat del Sector Comercial de Barcelona al 2015” se puede extraer que la superficie media de los locales comerciales a la ciudad condal es de 74 m².

Para un local mediano se ha realizado la siguiente oferta económica:

INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ACCESOS NOCTURNO					Fecha	24/01/2018
					PRECIO DE VENTA (No incluye el I.V.A.)	
MATERIALES / EQUIPOS					Unitario	Total
Pos.	Cant	Uds	Descripción			
1 <u>INSTALACIONES</u>						
1.1			CONTROL ACCESOS			
	1,00	ut	Lector tarjetas proximidad antivandálico. Ref. LECTOR R/W MURAL M IP65	168,50		168,50
	1,00	ut	Lector tarjetas proximidad interior. Ref. LECTOR R/W MURAL M	146,06		146,06
	2,00	ut	Abrepuertas eléctrico 12V	20,43		40,86
	1,00	ut	CPU - UCA AS3	1.323,70		1.323,70
	1,00	ut	TOMA IP	24,87		24,87
	1,00	ut	Cableado IP entre CPU y red de comunicaciones de tienda	73,45		73,45
	100,00	ut	Tarjeta magnética blanca	0,66		66,00
	1,00	ut	Software de control de accesos y presencia PYMES	1.031,00		1.031,00
	2,00	ut	Cableado lector hasta CPU	33,33		66,66
	2,00	ut	Cableado abrepuertas - lector	7,30		14,60
SUBTOTAL 1.1.- CONTROL ACCESOS					2.955,70 €	
1.2			CCTV (CIRCUITO CERRADO TELEVISIÓN)			
	1,00	ut	Cámara exterior. Ref. DS-2CE16C2T-VFIR3(2.8-12mm)/CVBS HIKVISION	138,93		138,93
	1,00	ut	Cámara interior. Ref. DS-2CE56D1T-IRMM(2.8mm) marca HIKVISION	120,39		120,39
	2,00	ut	Cableado IP Cámara-Videograbador	92,58		185,16
	1,00	ut	Cableado Alimentación Videograbador	27,60		27,60
	1,00	ut	Videograbador 4 ch. Ref. DS-7104HQHI-F1/N HIKVISION	214,14		214,14
	1,00	ut	Monitor	91,90		91,90
	1,00	ut	Disco Duro S-ATA 4 TB. Ref. DS-4TBWD-Purple	368,37		368,37
	1,00	ut	Ayudas de albañilería	30,00		30,00
SUBTOTAL 1.2.- CCTV (CIRCUITO CERRADO TELEVISIÓN)					1.176,49 €	
TOTAL 1.- INSTALACIONES					4.132,19 €	

Tabla 38. Presupuesto instalación de un sistema de control de accesos.

El coste de una instalación de un control de accesos a un establecimiento mediante tarjeta magnética incluyendo materiales y mano de obra es de 4.132,19€. Este precio incluye:

- CONTROL DE ACCESOS AL ESTABLECIMIENTO

- 2 Lectores de tarjetas magnéticas. Una exterior (IP65) antivandálica y una interior para que si el establecimiento es suficientemente grande como para estar dividido, la zona del local esté separada de la zona del almacén y de esta manera el repartidor solo pueda entrar a zonas habilitadas.
- 2 Abrepuertas eléctricos de 12V, de esta forma no hace falta cambiar la puerta entera, simplemente instalando este dispositivo, al validar la tarjeta abrirá automáticamente la puerta. Se podrá uno en cada puerta donde haya un lector de tarjetas.
- CPU al cual irán conectados los lectores y los abrepuertas. Este CPU tendrá salida IP.
- Software de control de PYMES, el cual proporciona una herramienta para el control de presencia de los empleados.
- Cableado para conectar el panel existente de la red de cableado estructurado.

- CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN

- Cámara exterior antivandálica con LED ya que su uso principal será nocturno.
- Cámara interior para tener visión de todo el almacén.
- Videograbador de cuatro canales y disco duro de 4 TB.
- Monitor de 18,5" instalada una sala privada para la visualización de las grabaciones.
- Cableado desde las cámaras a la sala de control.

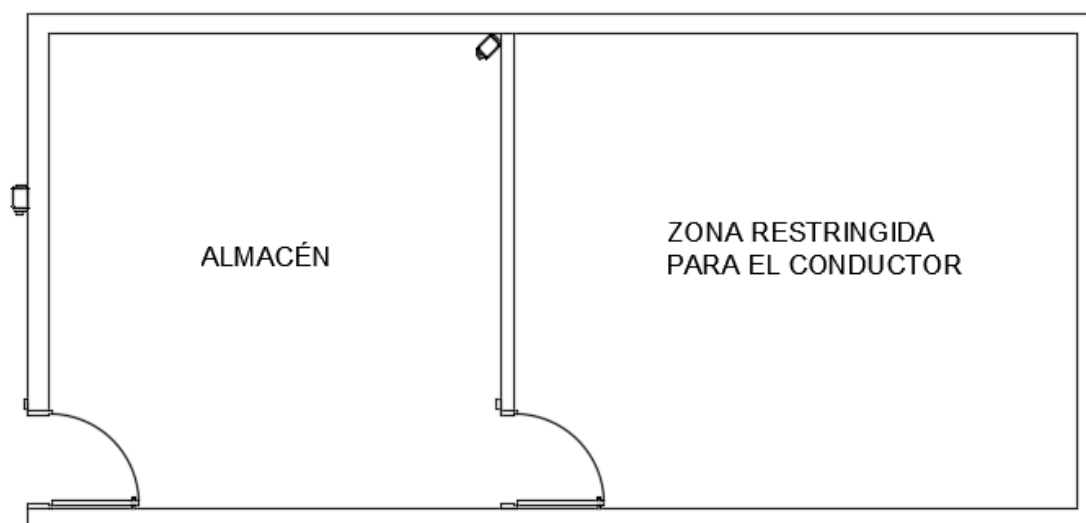


Figura 15. Croquis de la instalación a realizar en los establecimientos

Para empresas grandes en las cuales los establecimientos y la empresa transportista formen parte del mismo grupo cabe la opción de disponer de una impresora de acreditaciones para todo el grupo y así no tener que pagar la configuración de cada tarjeta a una empresa externa. (ANEXO 3)

El coste de una impresora de acreditaciones es de 1.854€, en el caso de Condis Supermercats, al disponer de 155 comercios solo en el centro de Barcelona podría ser una buena inversión a realizar ya que de esta manera no deberán subcontratar a nadie para las programaciones de las tarjetas.

6.3. Procedimiento a seguir

Para que se pueda llevar a cabo este proyecto se deberá seguir unas pautas, de esta manera se realizará todo de manera metódica y segura.

Los comercios que participan deberán abonar tarjetas magnéticas de entrada a su almacén a la empresa transportista.

De esta manera el conductor o conductores al llegar al punto de entrega, con la tarjeta podrán entrar en las instalaciones y dejará la mercancía en el lugar acordado. Teniendo en cuenta que toda la mercadería que precise frío o congelador también deberá ser guardada en el lugar pertinente, ya que es muy importante mantener las cadenas de frío de cada producto.

Los conductores nunca deberán acceder a zonas fuera de las acordadas ni tocar material ajeno a su entrega. Toda esta maniobra puede estar grabada con cámaras de videovigilancia.

Cuando el responsable de revisar la mercadería realice la “check list” de la mercancía obtenida se verificará que esta todo lo acordado o no, si no es el caso se pueden dar dos opciones. Esperar a la próxima entrega o pedir el producto de manera exprés, esta última opción significa que la empresa transportista siempre intentará reducir al máximo los errores ya que realizar una entrega, de un solo producto es un gasto muy significativo y que no se puede cargar al cliente.

En todo caso se puede proponer el pago después de la recepción del material de esta forma se paga lo que se recibe.

6.4. Subvenciones factibles

Para que este proyecto sea factible a todos los agentes implicados debe de haber un equilibrio en los gastos y beneficios.

En la realización de esta nueva iniciativa hay muchas mejoras no cuantitativas económicamente para los transportistas como para los comercios, como la mejora de tráfico, la reducción en emisiones de CO₂ o la disminución del ruido. Pero son factores muy importantes para la ciudad que esta debería de premiar e incentivar para que se realicen y se intenten mejorar.

Por ello se cree que el ayuntamiento de la localidad afectada debería de remunerar a los participantes con una subvención simbólica para promover este proyecto, estas ayudas se realizarían de manera anual durante un máximo de 2 años, en los establecimientos independientes dado que en este tiempo no solo se ha amortizado el gasto inicial sino que habrá un beneficio.

Algunos de los incentivos que el estado o el ayuntamiento podría asumir es:

- Anulación del pago del IBI durante 8 años lo que equivaldría de media a unos 4114€. Esto solo se podría aplicar a los dueños de los locales comerciales, en el caso de Barcelona solo el 18,4% son en propiedad el resto son locales en alquiler en el cual el IBI lo suele pagar el propietario.
- Anulación durante 1 años del IVTM (Impuesto sobre vehículos de tracción mecánica) de los vehículos asociados al proyecto que únicamente realicen rutas nocturnas. Teniendo en cuenta que para un IVECO EURO CARGO la cuota anual del IVTM según el Ajuntament de Barcelona sería de 296,60€.
- Por otro lado se puede realizar la subvención de manera íntegra realizando transferencias bancarias comunes.

Las ayudas variarán según el tipo de agente sea, a continuación se describen para los dos agentes principales que participarían en el proyecto que tipo de subvención necesitarían para que les resulte económicamente atractivo:

Se propone de una subvención de 300€/año por camión de manera significativa, ya que este valor no cubre los gastos en personal nocturno, pero sí puede incentivar a los transportistas a seguir este nuevo modo de entregas. Esta subvención solo será recibida cuando se cumplan todas las normas siguientes:

- Rutas completamente nocturnas, ya que si se deben realizar más rutas para hacer las entregas en los comercios que no deseen recibir las entregas por la noche no es factible ya que se obtendrían más viajes que antes.
- Cumplimiento de los valores límites acústicos de la ciudad durante la noche.
- Camiones llenos para optimizar las rutas al máximo.

En relación a los comercios, estos son los que más perjudicados se podrían ver a simple vista, pero disponer de personal empleado durante un periodo importante de las horas más concurridas normalmente comprobando las mercancías recibidas también es algo que les afecta. Por ello se ha creído conveniente, en este caso, realizar una aportación más importante ya que al menos debería cubrir los gastos en habilitar el comercio para que se puedan entregar las mercancías durante la noche. La subvención será 2000€ por tienda, la cual se entregará en cuanto se comience el proyecto para así evitar estafas. Al

igual que las empresas de transportes, para poder recibir esta ayuda se deberá cumplir unos requisitos básicos:

- Mantenimiento de las instalaciones de acceso y seguridad del almacén.
- Cooperación con la empresa transportista para ser más eficientes en las entregas. Cuanto mejor sea la comunicación las entregas serán más dinámicas y habrán menos problemas por lo que no se deberán realizar viajes extras.

Como es a entender estas son unas suposiciones realizadas para el proyecto pero que se creen que son muy ajustadas y que realmente el ayuntamiento podría asumir para poder potenciar este mercado de trabajo.

6.5. Balance final

En este apartado se podrá ver la conclusión positiva de los factores económicos que intervienen en el proyecto. Algunos de los ahorros que se mostrarán a continuación se han podido ver en los apartados 5.2.2. y 6.1.

Al realizar el cambio de entregas diurnas a nocturnas se dan una serie de ahorros, algunos son económicos que es lo que se suele pensar que son más importantes, pero también ahorros en emisiones, en tráfico, seguridad...

6.5.1. Balance de la empresa que dispone de transporte y establecimientos.

El caso 1, el cual se ha comentado en gran parte del trabajo, se define como una empresa que engloba la distribución de las mercaderías como la propiedad de los establecimientos, en el trabajo se ha centrado en un supermercado pero se podría generalizar a todos aquellos grupos empresariales que trabajen de esta manera.

En este caso se puede observar (Tabla 39) un gran ahorro en combustible, flota de vehículos y multas, como también un gasto importante en personal, ya que en este caso como se ha explicado en anteriores apartados, durante el día el conductor va solo, pero durante las rutas nocturnas la realizará con un copiloto para ayudarlo en la descarga. Esto implica un gasto extra no solo por el plus de nocturnidad sino por un trabajador más.

Teniendo en cuenta todos estos factores el ahorro anual de la empresa transportista es de 81.265,40€. Pero al ser el propietario de los establecimientos la empresa cargará con los gastos de inversión, 4132,29€/establecimiento, para un total de 155 establecimientos en toda Barcelona, resulta un gasto de implementación de

640.504,95€. A este valor se debe añadir el coste de 11 carretillas nuevas, 1 por camión, lo que resulta un gasto de 1.320,00€.

CASO 1 (Barcelona)				
	Día	Noche	Ahorro (%)	Ahorro (€)
Combustible	131852,9	75344,5	43%	56508,39
Flota de vehículos	334209,38	220390,87	34%	113818,52
Multas	5204	0	100%	5204,00
Personal	246899,56	341165,06	-38%	-94265,51
	718165,8	636900,4	11%	81265,40
Gastos implementación	0	641824,95		641824,95
Tiempo amortización (años)				7,90

Tabla 39. Balance CASO 1 Barcelona

Sin tener en cuenta las subvenciones, ya que no son seguras y son solo una propuesta, la empresa tardará aproximadamente 8 años en amortizar la inversión de los comercios. En cambio si se aplica una subvención de 300€ a cada camión (11 camiones) y otra subvención de 2.000€ a cada establecimiento (155 establecimientos), la empresa tardará poco más de 4 años en amortizar la inversión y comenzar a disfrutar de los beneficios (Tabla 41).

	Camiones	Establecimientos
Años de subvención	1	1
Afecta	11	155
Subvenciones (€)	300	2000
Subvención total	3300	310000

Tabla 40. Subvenciones propuestas CASO 1 Barcelona.

Ahorro total	81265,40
Gastos implementación	641824,95
Subvenciones	313300,00
Final gastos implementación	328524,95
Tiempo amortización (años)	4,04

Tabla 41. Amortización con subvenciones propuestas CASO 1 Barcelona

VENTAJAS

- Disminución de la flota de vehículos.
- Ahorro en gasolina, ya que los vehículos consumen menos de noche porque hay menos tráfico.
- Seguridad para los conductores ya que conducen más tranquilos.
- Ahorro de las multas de tráfico debidas a los estacionamientos en lugares prohibidos.
- Ahorro en tiempo de los empleados ya que cuando llegan a primera hora ya tienen la mercancía en el almacén o cámara frigorífica, solo es necesario ordenar.

INCONVENIENTES

- Aumento de la plantilla para dar el servicio apropiado.
- Hasta después de 8 años no se verán beneficios económicos.

6.5.2. Balance del comercio autónomo

Para un comercio autónomo es esencial la posibilidad de ayudas económicas ya que estos deberán adaptar su establecimiento a las condiciones necesarias para que se puedan realizar las entregas nocturnas. Estos comercios no tendrán un beneficio económico directo como el que tendrá la empresa transportista ya sólo podrían ver un descuento en las entregas por parte del distribuidor.

Cabe destacar que si tendrán un beneficio en agilidad a la hora de la recepción de entregas ya que actualmente en estos comercios se necesita una persona dedicada totalmente a esta labor y no a atender a los clientes. Realizando las entregas nocturnas a primera hora de la mañana se podrá ordenar las mercancías teniendo todo el resto de la jornada laboral exclusivamente para atender a clientes.

VENTAJAS

- Optimiza el tiempo de los trabajadores.
- Pago por lo que recibo

INCONVENIENTES

- Coste de implementación de la seguridad necesaria para poder recibir las mercancías nocturnas.
- Tardanza en disposición de mercancías fuera del horario estipulado o con un coste extra.
- Dependencia total de las subvenciones para la viabilidad del proyecto.

6.5.3. Balance de la empresa transportista

Una empresa la cual realiza entregas en comercios aislados no tendrá unos gastos de implementación tan grandes como un comercio. Únicamente deberá añadir a sus camiones carretillas que sean más silenciosas y así poder trabajar durante la noche.

Aparte de los gastos de implementación hay gastos extras cuando se trabaja de noche, como el personal, un conductor tendrá un plus de nocturnidad que durante el día no tiene.

Como se puede observar en las Tablas 42 y 44 teniendo en cuenta el ahorro de combustible, de multas y el gasto extra de personal en los dos casos se pueden obtener

ahorros de más de 3500€. Un dato importante a considerar es que al mantener la flota de vehículos a un único camión no tendrá un gasto extra, pero sí existe, pero es igual al que se paga actualmente.

En estos casos al tener una inversión de solo 120€ el tiempo de amortización como es lógico es prácticamente inmediato, se verá que en otros casos es diferente.

CASO 2 (Lleida)				
	Día	Noche	Ahorro (%)	Ahorro (€)
Combustible	1549,7	885,5	43%	664,14
Flota de vehículos	13898,84	13898,84	0%	0,00
Multas	3900	0	100%	3900,00
Personal	13716,64	14432,99	-5%	-716,34
	33065,2	29217,4	12%	3847,80
Gastos implementación	0	120		120,00
Tiempo amortización (años)				0,03

Tabla 42. Balance CASO 2 LLEIDA

Teniendo en cuentas las subvenciones propuestas en el apartado 6.4. Se obtiene que para el Caso 2 en Lleida hará que la empresa cubra los costes de implementación y que gane dinero desde el primer mes, por lo que con este resultado se puede observar que la ayuda a los transportistas no es relevante y podría ser suprimida.

Ahorro total	3847,80
Gastos implementación	120,00
Subvenciones	300,00
Final gastos implementación	-180,00
Tiempo amortización (años)	-0,05

Tabla 43. Amortización con subvenciones propuestas CASO 2 Lleida.

Para el caso 2 en Barcelona se obtienen unos resultados muy parecidos al caso anterior, ya que son prácticamente iguales y se puede extraer la conclusión que no es necesaria la subvención a los transportistas que no disponen de establecimientos.

CASO 2 (Barcelona)				
	Día	Noche	Ahorro (%)	Ahorro (€)
Combustible	2552,1	1458,3	43%	1093,75
Flota de vehículos	13898,84	13898,84	0%	0,00
Multas	3900	0	100%	3900,00
Personal	13716,64	14432,99	-5%	-716,34
	34067,6	29790,2	13%	4277,40
Gastos implementación	0	120		120,00
Tiempo amortización (años)				0,03

Tabla 44. Balance CASO 2 Barcelona

Ahorro total	4277,40
Gastos implementación	120,00
Subvenciones	300,00
Final gastos implementación	-180,00
Tiempo amortización (años)	-0,04

Tabla 45. Amortización con subvenciones propuestas CASO 2 Barcelona

VENTAJAS

- Ahorro en gasolina ya que los vehículos consumen menos de noche porque hay menos tráfico.
- Seguridad para los conductores ya que conducen más tranquilos.
- Ahorro de las multas de tráfico debidas a los estacionamientos en lugares prohibidos.
- Tiempo de amortización del material a incorporar prácticamente inmediato, viendo beneficios económicos desde el primer año de implantación.
- Dependencia prácticamente nula de subvenciones.

INCONVENIENTES

- Necesidad de incorporar personal nocturno con el gasto extra que ello comporta.

6.5.4. Balances

A continuación se realizará un resumen de los balances más relevantes del trabajo y así tener una idea global completa del resultado del proyecto.

6.5.4.1. Tiempos

A la conclusión final que se llega de los tiempos de las rutas se verán reducidas en un 40%, lo que implica que será más barato, más eficiente la entrega y se necesitarán menos camiones para realizar las mismas rutas, ya que probablemente un camión podrá realizar más de una ruta en una misma ventana horaria, hecho que antes no podía.

	CASO 1 (BARCELONA)		CASO 2 (LLEIDA)		CASO 2 (BARCELONA)	
	Porcentaje reducción	Ahorro	Porcentaje reducción	Ahorro	Porcentaje reducción	Ahorro
Tiempo total ruta (h)	40%	1,05	41%	3,46	42%	3,84

Tabla 46. Balance de tiempos de todos los casos.

6.5.4.2. Consumo de carburante

Debido a la diferencia de consumo durante el día y durante la noche, el gasto en combustible se verá positivamente afectado ya que en los tres casos la reducción es del 43%, un aspecto positivo para la empresa ya que tiene un importante ahorro en combustible pero también para la sociedad ya que se reduce el consumo de gasoil.

	CASO 1 (BARCELONA)		CASO 2 (LLEIDA)		CASO 2 (BARCELONA)	
	Porcentaje reducción	Ahorro	Porcentaje reducción	Ahorro	Porcentaje reducción	Ahorro
Gasto Gasoil total (€/año)	43%	56.508,39	43%	664,14	43%	1093,75

Tabla 47. Balance de consumo de carburante de todos los casos.

6.5.4.3. Contaminación y tráfico

Aquí se muestra una tabla resumen de los ahorros en emisiones de CO₂ que se tendrían en cada caso, como se puede observar, se pueden conseguir ahorros de más de 50% de las emisiones lo que beneficiaría enormemente a la ciudad si una parte considerable del parque automovilístico de mercancías realizara el proyecto.

	CASO 1 (BARCELONA)		CASO 2 (LLEIDA)		CASO 2 (BARCELONA)	
	Porcentaje reducción	Ahorro	Porcentaje reducción	Ahorro	Porcentaje reducción	Ahorro
Emisiones total flota (tn/ año)	53%	117,42	54%	1,35	54%	2,22
Coste emisiones total flota (€/ año)	53%	18.787,05	54%	216,11	54%	355,89

Tabla 48. Balance de contaminación de todos los casos

6.6. Mejoras

Hay que tener en cuenta que esta implantación no es factible para todo los tipos de comercios de la ciudad por lo que es muy importante pensar en mejoras alternativas que pueden servir para contribuir en el desarrollo sostenible.

- Implementación de vehículos a gas o eléctricos.
- Centros logísticos para consolidar las entregas y realizar los menos viajes posibles y el menor de entradas a los comercios.
- Aunque sean entregas diarias se pueden incorporar carretillas con ruedas neumáticas para amortiguar el molesto sonido que producen las carretillas tradicionales.

- Flexibilidad de las ventanas horarias de entrega de mercancías, no necesariamente deben de ser nocturnas sino fuera de las horas punta de las ciudades.
- Procurar que los vehículos salgan del almacén con la máxima carga posible para aprovechar las rutas al máximo.
- En la medida de lo posible, realizar entregas con más mercancías y con menos frecuencia. De esta manera se puede reducir el tiempo de espera de mercancías por parte de los comercios y por otro lado las empresas transportistas no deberán de ir al mismo comercio tantas veces seguidas y podrán satisfacer otras rutas.

7. CONCLUSIONES E INVESTIGACIÓN FUTURA

Tal y como se ha visto a lo largo de todo el proyecto, la ciudad de Barcelona muestra signos de avance en relación a la mejora de la distribución urbana de mercancías, ya que se han implantado diferentes proyectos.

El caso de la distribución urbana de mercancías de manera nocturna y sin asistencia no es una utopía pues como se ha podido ver que hay empresas que actualmente lo practican, pero ninguna de manera permanente y exclusivamente nocturna.

A partir de los casos estudiados, se concluye que las empresas que disponen de medios para distribuir en sus propios establecimientos, será viable realizar las entregas de manera nocturna teniendo en cuenta que tardarán alrededor de 8 años en amortizar la inversión realizada en los comercios.

En el caso de los establecimientos que deseen participar, deberán realizar una inversión importante para habilitar la entrega nocturna, en este caso será muy recomendable la ayuda de las autoridades para fomentar dicha iniciativa, ya que por el contrario los comercios no querrán participar, si no ven ningún tipo de ganancia económica. Se debe tener en cuenta que las subvenciones son una manera muy atractiva de fomentar este método. Las administraciones tendrían diferentes beneficios, como la mejoría del tráfico, disminución de las emisiones de CO₂, reducción de los accidentes y minimización de los niveles acústicos durante las horas punta de carga y descarga.

Finalmente para el caso de las empresas de distribución se considera que gracias al beneficio obtenido en mayor parte por el ahorro de combustible y sanciones administrativas, no es necesaria ningún tipo de subvención extra y se podrían ver beneficios económicos desde el primer año de implantación.

Después de visualizar los resultados de los modelos realizados se puede afirmar que es una alternativa viable para la ciudad de Barcelona, siempre y cuando se realice un estudio de viabilidad para cada caso y cumpliendo los niveles de ruido acordados con el ayuntamiento para no molestar a los vecinos.

En el caso de una investigación futura se deberá realizar un estudio empírico para calcular las velocidades de los vehículos, tanto diurna como nocturna. También se deberá de estudiar la viabilidad de otros tipos de centros que reciben mercancías como podrían ser hoteles, hospitales u oficinas, ya que los resultados para cada tipo de negocio pueden ser diferentes. Para finalizar lo ideal en un futuro será realizar un estudio de viabilidad con rutas reales y comprobar que la teoría se confirma.

REFERENCIAS

- [1] TomTom Traffic Index (2017). *Traffic congestion statistics for Barcelona base don TomTom's historical database for 2016*. Disponible en <https://www.tomtom.com>. Último acceso: 23/11/2017
- [2] Calidad del Aire (2017). *Preguntas frecuentes sobre la contaminación del aire*. Disponible en <http://ajuntament.barcelona.cat>. Último acceso: 10/11/2017
- [3] Generalitat de Catalunya (2016). *Emissions contaminants a l'atmosfera*. Disponible en <http://web.gencat.cat>. Último acceso: 10/11/2017
- [4] Oficina Catalana del Canvi Climàtic. *Inventari d'emissions de GEH a Catalunya*. Disponible en <http://canviclimatic.gencat.cat>. Último acceso: 10/11/2017
- [5] Ajuntament de Barcelona (2016). *Dades bàsiques de mobilitat 2015. Informe 2015*. Disponible en <http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat>. Último acceso: 13/09/2017
- [6] Ajuntament de Barcelona (2017). *Como funciona AreaDUM*. Disponible en <https://www.areaverda.cat>. Último acceso: 20/10/2017
- [7] VREF Center of Excellence for Sustainable Urban Freight Systems (2017). *Receiver-Led Delivery Consolidation Program*. Disponible en <https://coe-sufs.org>. Último acceso 19/07/2017.
- [8] STRAIGHTSOL (2013). *Demonstration A: DHL Supply Chain's Urban Consolidation Centre in L'Hospitalet de Llobregat*. Disponible en <http://www.straightsol.eu>. Último acceso: 10/10/2017
- [9] Estrada, M., Roca-Riu, M. (2013). *A consolidation center for L'Hospitalet de Llobregat*. Disponible en <https://docs.google.com>. Último acceso: 10/10/2017
- [10] Diputació de Barcelona (2014). *Soluciones última milla per al transport de mercaderies*. Disponible en <http://xarxamobal.diba.cat>. Último acceso: 10/10/2017
- [11] Palou, Neus (2016). *Barcelona quiere disminuir el tráfico de reparto de mercancías con plataformas de distribución. La Vanguardia*. Disponible en <http://www.lavanguardia.com>. Último acceso: 10/10/2017
- [12] Pink, Hayley (2016). *TfL expands retiming deliveries work in the capital*. Disponible en <http://http://freightinthecity.com>. Último acceso: 27/07/2017
- [13] Transport for London (2017). *Getting the timing right. Making the most of quieter times for deliveries*. Disponible en <http://content.tfl.gov.uk>. Último acceso: 10/08/2017
- [14] Holguín-Veras, J., Ozbay, K., Kornhauser, A., Shorris, A., Ukkusuri S. (2010). *Integrative freight demand management in the New York City Metropolitan Area. Final Report*. Disponible en <http://transp.rpi.edu>. Último acceso: 10/07/2017

- [15] NYC DOT(2017). *Off-Hour Deliveries Program*. Disponible en <http://www.nyc.gov>. Último acceso: 10/08/2017
- [16] Mercadona (2013). *Memoria medio ambiente 2010-2012*. Disponible en <https://www.mercadona.es>. Último acceso: 29/09/2017
- [17] Arias, Raquel (2014). *Distribución Nocturna. Camión Actualidad*. Disponible en <http://www.camionactualidad.es>. Último acceso: 19/09/2017
- [18] García, Jesús (2005). *Barcelona quiere potenciar la descarga nocturna de mercancías. El País*. Disponible en <https://elpais.com>. Último acceso: 23/09/2017
- [19] Subirana, Jordi (2007). *La carga y descarga nocturna de mercancías no cuaja en Barcelona. El Periódico*. Disponible en <http://www.elperiodico.com>. Último acceso: 23/09/2017
- [20] Chiffi, Cosimo (2012). *Silent inner.city overnight deliveries in Barcelona (Spain)*. Disponible en <http://www.eltis.org>. Último acceso: 08/10/2017
- [21] Robusté, F., C.F. Daganzo and R.R. Souleyrette (1990) *Implementing vehicle routing models. Transportation Research Part B*, 24B:4, 263-286. ISSN: 0191-2615.
- [22] Ajuntament de Lleida (2011). *Pla de mobilitat Urbana de Lleida. Anàlisi de la Demanda*. Disponible en <http://mobilitat.paeria.cat>. Último acceso: 30/11/2017
- [23] Boletín Oficial del Estado (2016). *III. Otras disposiciones. Ministerio de empleo y Seguridad Social 12093*. Num. 306. Sec. III. Pág. 88917. Disponible en <https://www.boe.es>. Último acceso: 23/12/2017
- [24] Indeed (2017). *Suedos de repartidores en España*. Disponible en <https://www.indeed.es>. Último acceso: 23/12/2017
- [25] Transport for London (2017). *Penalty charges*. Disponible en <https://tfl.gov.uk>. Último acceso: 28/08/2017
- [26] Wikipedia (2017). *Impuesto sobre el carbono*. Disponible en <https://es.wikipedia.org>. Último acceso: 09/11/2017
- [27] Auto Scout 24 (2013). *Iveco Eurocargo 120E25 Test: A Truck for every day*. Disponible en <http://trucksblog.autoscout24.com>. Último acceso: 08/11/2017
- [28] Francesc Arroyo (2001). *La velocidad media del tráfico cae en las vías de acceso a Barcelona, al borde de la saturación. El País*. Disponible en <https://elpais.com>. Último acceso: 02/10/2017
- [29] Ministerio de Fomento (2008). *Estudio de Costes del transporte de mercancías por carretera. Resumen Ejecutivo*. Disponible en <https://www.fomento.gob.es>. Último acceso: 27/12/2017
- [30] Ministerio de Fomento (2015). *Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera*. Disponible en <http://www.fomento.gob.es>. Último acceso: 19/11/2017

- [31] Autoritat del Transport Metropolità (2016). *Enquesta de mobilitat en un dia feiner. EMEF 2016*. Disponible en <http://www.atm.cat>. Último acceso: 19/11/2017
- [32] Leroy Merin (2017). *Carretillas ruedas y soportes rodantes*. Disponible en <http://www.leroymerlin.es>. Último acceso: 23/12/2017
- [33] Ajuntament de Barcelona (2014). *Enquesta Activitat del Sector Comercial de Barcelona: Direcció de Comerç i Consum*. Disponible en <http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat>. Último acceso: 02/10/2017
- [34] Tributs de Catalunya (2017). *Tributos en Cataluña*. Disponible en <http://www.tributs.cat>. Último acceso: 02/12/2017
- [35] Diputació de Barcelona. Organisme de Gestió Tributària (2017). *IAE Impost sobre Activitats Econòmiques*. Disponible en <http://orgt.diba.cat>. Último acceso: 02/12/2017
- [36] Ajuntament de Barcelona. Hisenda (2017). *Ordenanza Fiscal nº 1.2. Ordenanza fiscal reguladora del impuesto sobre vehículos de tracción mecánica*. Disponible en <http://ajuntament.barcelona.cat>. Último acceso: 27/12/2017

ANEXOS

7.5. ANEXO 1. CÁLCULOS DE LOS CASOS

7.6. ANEXO 2. VdT (VALOR DEL TIEMPO) EN BARCELONA

7.7. ANEXO 3. PRESUPUESTO Y FICHAS TÉCNICAS DE LA INSTALACIÓN DE CONTROL DE ACCESOS Y CCTV EN LOS ESTABLECIMIENTOS.